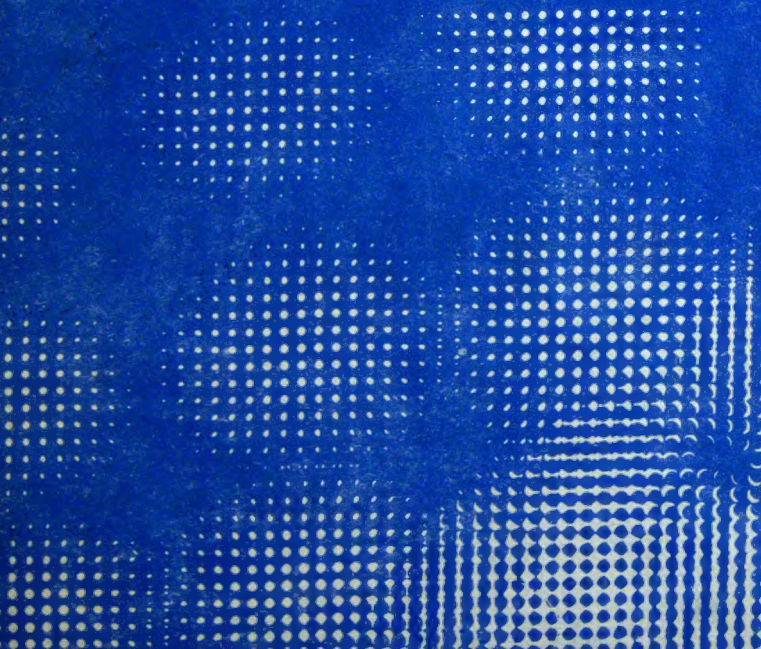


Г. Р. Гацко, Я. Ф. Канапля

ПРЫРОДНАЯ РАДЫЕ- АКТЫЎНАСЦЬ



АКАДЭМІЯ НАВУК БЕЛАРУСІ
ІНСТЫТУТ РАДЫЕБІЯЛОГІІ

УДК 621.372.6
ББК 62.015.5
УДК 621.372.6

Г. Р. Гацко, Я. Ф. Канапля

ПРЫРОДНАЯ РАДЫЕ- АКТЫЎНАСЦЬ

МІНСК

«НАВУКА І ТЭХНІКА»

1994

ББК 22.383

Г 24

УДК 539.16

Гацко Г. Р., Канапля Я. Ф.

Г 24 Природная радыеактыўнасць.— Мн.: Навука і тэхніка, 1994.— 70 с.

ISBN 5-343-01475-5.

Кніга знаёміць з фізічнымі аспектамі і колькаснай характарыстыкай іанізацыйных выпраменьванняў, дозамі радыяцыі, прыроднымі крыніцамі радыяцыі, да якіх належаць касмічнае выпраменьванне і прыродныя радыеактыўныя рэчывы. Разгледжаны пытанні міграцыі радыенуклідаў, дозы вонкавага і ўнутранага апраменьвання ад прыродных крыніц выпраменьвання. Падкрэсліваецца біялагічнае значэнне прыроднага фону радыеактыўнасці.

Кніга будзе карысная шырокаму колу чытачоў.

Табл. 3. Мал. 1. Бібліягр.— 15 назв.

5390160000—050

Г — Дад.— 94

М 316(03)—94

ББК 22.383

ISBN 5-343-01475-5

© Г. Р. Гацко, Я. Ф. Канапля,
1994

УСТУП

Чалавек адчувае на сабе няспыннае дзеянне іанізацыйных выпраменьванняў з навакольнага асяроддзя. «Кругом нас, в нас самих, всюду и везде, без перерыва, вечно сменяясь, совпадая и сталкиваясь, идут излучения разной длины волны», — пісаў акадэмік У. І. Вярнадскі.

Да іанізацыйных выпраменьванняў належаць карпускулярныя выпраменьванні (паскораныя элементарныя часцінкі і ядры розных элементаў) і фатоны электрамагнітнага выпраменьвання (гамма-і рэнтгенаўскае выпраменьванне з даўжынёй хвалі менш за 10 нм). Тэрмін «іанізацыйныя» падкрэслівае найбольш характэрную ўласцівасць выпраменьванняў — іх здольнасць непасрэдна або ўскосна выклікаць іанізацыю атамаў і малекул у рэчыве. Яшчэ адна назва — **пранікальная радыяцыя**.

Радыеактыўныя з'явы могуць адбывацца ў прыродзе (натуральная, або прыродная, радыеактыўнасць) і ў штучна атрыманых у выніку адпаведных ядравых рэакцый рэчывах (штучная радыеактыўнасць). Абодва віды радыеактыўнасці падпарадкоўваюцца адным і тым жа законам.

Радыеэкалагічны стан у тым або іншым рэгіёне фармуецца за кошт некалькіх крыніц. Першая — прыродныя крыніцы (касмічнае выпраменьванне і радыенукліды, што існуюць у навакольным асяроддзі). Выпраменьванне, якое чалавек атрымлівае ад іх, называецца прыродным (натуральным) фоном апраменьвання. Другая крыніца — тэхнагенна

зменены фон прыроднай радыяцыі, калі маецца на ўвазе пераразмеркаванне прыродных радыенуклідаў паміж рэгіёнамі або ў межах аднаго рэгіёна ў выніку дзейнасці чалавека. У сувязі з гэтым узнік спецыяльны тэрмін — «тэхнагенна зменены (узмоцнены) прыродны радыяцыйны фон». Трэцяя крыніца — павелічэнне радыяцыйнага фону з прычыны пападання ў біясферу штучных радыенуклідаў, якія выкарыстоўваюцца ў ядравай энергетыцы, біялогіі, медыцыне, сельскай гаспадарцы і г.д.

Прыродны фон іанізацыйных выпраменьванняў з'яўляецца асноўнай крыніцай апраменьвання раслін, жывёлаў і чалавека. Таму вывучэнне прыроднага радыяцыйнага фону і яго ўплыву на біягеацэнозы — адна з галоўных задач радыеэкалогіі і радыебіялогіі.



1. АСНОЎНЫЯ УЯЎЛЕННІ ПРА РАДЫЕАКТЫЎНАСЦЬ І ІАІІЗАЦЫЙНЫЯ ВЫПРАМЕНЬВАННІ

1.1. ФІЗІЧНЫЯ АСПЕКТЫ ДЗЕЯННЯ ІАІІЗАЦЫЙНЫХ ВЫПРАМЕНЬВАННЯЎ

Пад радыеактыўнасцю разумеюць уласці-
васць ядраў пэўных элементаў (ядры знаходзяцца
ў няўстойлівым стане) самаадвольна ператвара-
цца ў ядры радыеактыўных або стабільных элемен-
таў і вылучаць пры гэтым асаблівы род нябачнага
выпраменьвання, якое атрымала назву радыеак-
тыўнага. Рэчывы, якія вылучаюць такія выпрамень-
ванні, называюцца радыеактыўнымі, або радыенук-
лідамі (ад лат. *radius* — прамень, *nucleus* — ядро),
а сама з'ява — радыеактыўным распадам. Працэс
радыеактыўнага распаду адбываецца незалежна
ад вонкавых умоў, яго немагчыма ні паскорыць, ні
запаволіць.

Для радыеактыўнага выпраменьвання характэр-
ныя важныя ўласцівасці: 1) здольнасць пры пра-
ходжанні праз рэчыва выклікаць узбуджэнне і
іаіізацыю атамаў у асяроддзі распаўсюджвання,
утвараючы на сваім шляху пары іонаў (адмоўна
зараджаныя электроны і іаіізаваныя атамы, якія
маюць дадатны заряд); 2) даўжыня прабегу.
Апошняя характарыстыка залежыць ад шчыль-
насці асяроддзя, у якім распаўсюджваецца выпра-
меньванне. Іаіізацыйнае выпраменьванне пры
ўзаемадзеянні з атамамі рэчыва хутка страчвае
сваю энергію.

Іаіізацыйнае выпраменьванне неаднароднае па
складзе. Вызначаюць тры яго асноўныя віды:

альфа-, бѣта- і гама-выпраменьванне. Першыя два віды — гэта зараджаныя часцінкі, трэці не мае электрычнага зараду.

Альфа-выпраменьванне ўяўляе сабой паток ядраў гелію. Альфа-часцінкі складаюцца з двух пратонаў і двух нейтронаў. Энергія альфа-часцінак знаходзіцца ў дыяпазоне 3—9 МэВ *. Ім уласцівая высокая іанізацыйная здольнасць пры параўнальна малой даўжыні прабегу. Напрыклад, у паветры яна складае толькі некалькі сантыметраў; ад альфа-прамянёў абараняе звычайны аркуш паперы. Даўжыня прабегу ў вадзе і мяккіх біялагічных тканках налічвае ўсяго некалькі дзесяткаў мікраметраў. Вось чаму альфа- (і бѣта-) выпраменьванне атрымала назву слаба пранікальнага выпраменьвання. Пераважная большасць альфа-выпраменьнікаў — ізатопы цяжкіх элементаў (радыю-226, урану-238 і інш.).

Бѣта-выпраменьванне з'яўляецца патокам адмоўна (электронны) або дадатна (позітроны) зараджаных часцінак, якія вылучаюцца рознымі радыенуклідамі. Калі з ядра адбываецца вылет электрона, гаворка ідзе пра β^- -распад, а калі позітрона — пра β^+ -распад. Максімальная энергія бѣта-часцінак складае 0,1—3,5 МэВ. Даўжыня прабегу ў іх большая, чым у альфа-часцінак, і дасягае ў паветры 0,2—1,4 м, у вадзе і мяккіх біялагічных тканках — 0,02—1,9 см. У той жа час ступень іанізацыі атамаў і малекул у асяроддзі распаўсюджвання бѣта-часцінак значна ніжэйшая, чым у альфа-часцінак. У паветры на шляху ў 1 см бѣта-часцінка стварае каля 75 пар іонаў, альфа-часцінка — 40 тыс. пар іонаў. Малая маса і слабая іанізацый-

* Электрон-вольт (эВ) — пазасістэмная адзінка вымярэння энергіі выпраменьвання: $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{12} \text{ эрг}$; $1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ}$.

ная здольнасць бэта-часцінак патрабуюць меншых страт энергіі пры распаўсюджванні іх у асяроддзі. Дзякуючы гэтаму ў іх вышэйшая пранікальная здольнасць. Рухаюцца бэта-часцінкі з хуткасцю, блізкай да хуткасці святла — 200000—300000 км/с. Бэта-часцінкі (β^- -распад) вылучаюцца пераважнай большасцю прыродных (і штучных) ізатопаў.

Гама-выпраменьванне мае электрамагнітнае паходжанне, аналагічнае прыродзе святла, распаўсюджваецца з хуткасцю святла і з'яўляецца найбольш пранікальным. Кванты гама-выпраменьвання падобныя да квантаў святла, аднак у адрозненне ад іх валодаюць у мільёны разоў большай энергіяй (0,1—2,0 МэВ). Даўжыня прабега вялікая — дзесяткі і нават сотні метраў у паветры і многія сантыметры ў чалавечым целе. Гама-прамяні характарызуюцца нізкай іанізацыйнай здольнасцю, аднак пры іх узаемадзеянні з рэчывам ствараюцца другасныя іанізацыйныя выпраменьванні з высокай іанізацыйнай здольнасцю. Для аслаблення патоку гама-выпраменьвання ў два разы пры энергіі выпраменьвання 0,1 МэВ патрабуецца пласт вады 4 см або пласт свінцу 0,12 мм, а пры энергіі гама-выпраменьвання, роўнай 2,0 МэВ, гэтыя велічыні складаюць 14 см і 1,14 мм адпаведна.

Кожны радыенуклід вылучае строга пэўнае выпраменьванне з характэрнай энергіяй, якое дазваляе вызначаць прысутнасць таго ці іншага радыеактыўнага ізатопу ў навакольным асяроддзі.

Важнай уласцівасцю радыенуклідаў з'яўляецца перыяд іх жыцця ў радыеактыўным стане. Для характарыстыкі заканамернасці распаду радыеактыўных рэчываў уведзена паняцце «перыяд паўраспаду» ($T_{1/2}$), на працягу якога распадаецца па-

лова радыеактыўных атамаў. Праз такі ж праме-
жак часу застаецца толькі палова гэтай паловы,
або $1/4$ першапачатковай колькасці радыеактыў-
ных ядраў, затым $1/8$ і гэтак далей да бясконцасці.
Чым меншы перыяд паўраспаду, тым з большай
хуткасцю адбываецца распад радыенукліду і па-
мяншаецца колькасць радыеактыўных атамаў. Пра-
цэс самаадвольнага распаду радыенукліду пра-
цягваецца няспынна. Тэарэтычна радыеактыўны
ізатоп цалкам не распадаецца ніколі, а практычна
пасля некалькіх перыядаў паўраспаду колькасць
радыеактыўных ядраў рэчыва памяншаецца на-
столькі, што радыеактыўнасць робіцца неістотнай.
Перыяд паўраспаду для кожнага радыенукліду —
велічыня нязменная, на якую не ўплываюць вонка-
выя фактары.

Працягласць жыцця ў розных радыенуклідаў
неаднолькавая. Адны жывуць мала (кароткажыц-
цёвыя радыенукліды), распадаюцца хутка, пера-
твараючыся ў бяшкодныя стабільныя элементы,
іншыя — доўга, распадаюцца надзвычай павольна
(доўгажыццёвыя радыенукліды). Напрыклад, пе-
рыяд паўраспаду радону-220 складае 51,5 с, г. зн. ён
распадаецца амаль імгненна, радыю-224 — 3,64 сут,
а радыю-226 — 1620 гадоў. З гэтае прычыны ад-
нолькавую радыеактыўнасць могуць мець розныя
рэчывы, калі іх узяць у розных колькасцях, — на-
прыклад, тры тоны урану і адзін грам радыю.

Радыеактыўнае выпраменьванне нябачнае, яго
можна вызначыць толькі дзякуючы розным з'явам,
якія адбываюцца пры яго ўздзеянні на рэчыва
(святленне люмінафораў або флюарэсцэнтных экра-
наў, іанізацыя рэчываў, пачарненне фотаэмульсіі
пасля праяўлення і да т. п.).

1.2. КОЛЬКАСНАЯ ХАРАКТАРЫСТЫКА ІАЊІЗАЦЫЙНАГА ВЫПРАМЕНЬВАННЯ. АДЗІНКІ І ДОЗЫ РАДЫЯЦЫІ

Пры кожным акце радыеактыўнага ператварэння (распаду) вылучаецца энергія, якая перадаецца ў выглядзе выпраменьвання. Пры вымярэнні радыеактыўнасці вызначаецца колькасць атамаў, што распадаюцца за адзінку часу. Адзінка актыўнасці радыенукліду ў Міжнароднай сістэме адзінак SI — бекерэль (Бк, Bq) *. Адзін бекерэль адпавядае аднаму ядраваму ператварэнню за 1 с для любога радыенукліду. Выкарыстоўваюцца таксама вытворныя ад гэтай адзінкі: у тысячу разоў большыя — кілабекерэль (кБк), у мільён разоў большыя — мегабекерэль (МБк) і г. д. Колькасць радыенуклідаў у аб'ектах навакольнага асяроддзя прынята выражаць у дачыненні да масы рэчыва (Бк/кг).

Дапускаецца выкарыстанне і састарэлай адзінкі радыеактыўнасці — кюры (Ки) **: $1 \text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Бк}$. Актыўнасць, роўную 1 Ки, мае 1 г радыю, вылучаны ў лабараторыі П'ера Кюры і Марыі Складоўскай-Кюры. Паколькі кюры — параўнальна вялікая адзінка, на практыцы для вымярэння малых дозаў карыстаюцца вытворнымі велічынямі — часткамі гэтай адзінкі: мілікюры (мКи, адна тысячная частка кюры), мікракюры (мкКи, адна мільённая частка кюры) і пікакюры (пКи, адна мільярдная частка кюры). Ведаючы велічыню радыеактыўнасці ў бекерэлях, можна выразіць яе ў

* Назву атрымала ў гонар французскага вучонага Анры Бекерэля, які адкрыў з'яву радыеактыўнасці.

** Назву атрымала ў гонар французскіх вучоных П. Кюры і М. Складоўскай-Кюры, славутых даследчыкаў з'явы радыеактыўнасці.

кюры і наадварот: $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$; $1 \text{ мКи} = 37 \text{ МБк}$; $1 \text{ мКи} = 37 \text{ кБк}$.

Інфармацыю пра колькасць энергіі выпраменьвання, якое ўздзейнічае на аб'ект, дае экспазіцыйная доза. Адзінка яе вымярэння — 1 кулон (Кл), г.зн. велічыня электрычнага зараду, які ўтвараецца пад уздзеяннем выпраменьвання ў 1 кг паветра (1 Кл/кг). Рэнтген (Р) — састарэлая адзінка экспазіцыйнай дозы: $1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$, або $1 \text{ Р} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ Кл/кг}$.

Вызначэнне радыеактыўнасці яшчэ нічога не гаворыць пра дозу радыяцыі. Гэта звязана з тым, што на біялагічныя аб'екты ўплывае толькі тая частка выпраменьвання, якая паглынутая імі. Аדлюстраваная і пранікнёная энергія не робіць уплыву на апраменены аб'ект (прынцып Гротгуса). З гэтай прычыны для ацэнкі біялагічнай небяспекі іанізацыйных выпраменьванняў выкарыстоўваюць дозы радыяцыі, якія вымяраюцца ў велічынях энергіі, паглынутай тканкамі. У цяперашнім часе прыняты наступныя велічыні: паглынутая доза, эквівалентная доза, эквівалентная эфектыўная доза, калектыўная эквівалентная доза. Паглынутая доза — энергія іанізацыйнага выпраменьвання, паглынутая фізічным целам (напрыклад, тканкамі арганізма), у пераліку на адзінку масы. Адзінка паглынутай дозы (у сістэме адзінак SI) — грэй (Гр, Gy) *: $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$. Дапускаецца выкарыстанне і пазасістэмнай (састарэлай) адзінкі паглынутай дозы — рад (rad — ад англ. radiated absorbed dose): $1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$; $1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$. Калі доза радыяцыі меншая за 1 Гр, яе вымяраюць

* Новая адзінка паглынутай дозы атрымала назву ў гонар англійскага фізіка і радыебіёлага Л. Грэя.

у мілігрэях ($1 \text{ Гр} = 1000 \text{ мГр}$) або ў мікрагрэях ($1 \text{ Гр} = 1\,000\,000 \text{ мкГр}$).

Як вядома, розныя віды выпраменьванняў у залежнасці ад велічыні іанізацыйнай здольнасці маюць розную эфектыўнасць уздзеяння на арганізм. Выпраменьванні з высокай іанізацыйнай здольнасцю (альфа-часцінкі) выклікаюць пры адной і той жа велічыні паглынутай дозы большы біялагічны эфект, чым рэдка іанізацыйныя выпраменьванні (бэта- і гама-выпраменьванне). Для ўліку гэтых адрозненняў уведзены каэфіцыент якасці выпраменьвання і паняцце эквівалентнай паглынутай дозы.

Эквівалентная доза — велічыня паглынутай дозы (у грэях або радах), памножаная на каэфіцыент якасці, які адлюстроўвае здольнасць пэўнага віду выпраменьвання паражаць тканкі арганізма. Эквівалентная доза ўлічвае, такім чынам, біялагічнае дзеянне канкрэтнага віду радыяцыі. Пры вымярэнні паглынутай дозы ў грэях эквівалентную дозу выражаюць у зівертах (Зв) *. Пры вымярэнні паглынутай дозы ў радах эквівалентную дозу выражаюць у бэрах (біялагічны эквівалент рада). Для гама-выпраменьвання і рэнтгенаўскіх прамянёў каэфіцыент якасці прыняты роўным 1. Паглынутая доза гама-выпраменьвання 1 Гр (100 рад) роўная яго эквівалентнай дозе 1 Зв (100 бэр). Для альфа-часцінак каэфіцыент якасці роўны 20, г.зн. яны ў 20 разоў небяспечнейшыя, чым гама-выпраменьванне. Эквівалентная доза з'яўляецца асноўнай дазіметрычнай велічынёй, якая выкарыстоўваецца ў галіне радыяцыйнай бяспекі. Яна была ўведзена

* Новая адзінка ў сістэме SI атрымала назву ў гонар вядомага шведскага фізіка З. Зіверта, які зрабіў істотны ўклад у метадалогію колькаснага вымярэння радыяцыі.

для ацэнкі магчымай шкоды здароўю чалавека ў выніку хранічнага ўздзеяння іанізацыйнага выпраменьвання.

Эквівалентная доза разлічваецца для «сярэдняй» тканкі чалавечага цела. Аднак органы і тканкі маюць неаднолькавую радыеадчувальнасць. Найбольш радыеадчувальнымі з'яўляюцца чырвоны касцявы мозг і палавыя залозы, найменш — нервовая тканка. Радыеадчувальнасць пры разліку дозаў апраменьвання вызначаецца з дапамогай каэфіцыентаў радыяцыйнай рызыкі. Так, каэфіцыент радыяцыйнай рызыкі для чырвонага касцявога мозгу роўны 0,12, для касцявой тканкі — 0,03, для шчытападобнай залозы — 0,03, для малочнай залозы — 0,15, для лёгкіх — 0,12, для палавых залоз — 0,25, для іншых тканак — 0,30, для арганізма ў цэлым — 1,0. Калі разлічыць эквівалентныя дозы, атрыманыя асобнымі органамі і тканкамі арганізма, і ўлічыць адпаведныя каэфіцыенты рызыкі, то пасля складання гэтых велічынь можна вызначыць ефектыўную эквівалентную дозу, атрыманую ўсім арганізмам, адзінкай вымярэння якой таксама з'яўляецца зіверт.

Наступная велічыня — калектыўная ефектыўная эквівалентная доза, якая вымяраецца ў чалавек-зівертах (чал.-Зв). Яе падлічваюць шляхам падсумоўвання індывідуальных эквівалентных дозаў у групе апраменьеных людзей. Калектыўная ефектыўная эквівалентная доза, якую атрымаюць многія пакаленні людзей ад якой-небудзь радыеактыўнай крыніцы за ўвесь час яе існавання (многія радыеактыўныя рэчывы распадаюцца вельмі павольна), называецца чаканай (поўнай) калектыўнай ефектыўнай эквівалентнай дозай.



2. ПРЫРОДНЫЯ КРЫНІЦЫ ІАЊІЗАЦЫЙНЫХ ВЫПРАМЕНЬВАННЯЎ

2.1. КАСМІЧНАЕ ВЫПРАМЕНЬВАННЕ

На Зямлю нязменна ідзе бясконцы паток іаінізацыйнага выпраменьвання — касмічныя прамяні. Касмічнае выпраменьванне неаднароднае паводле свайго паходжання. Яго падзяляюць на першаснае і другаснае. У першасным касмічным выпраменьванні вызначаюцца першаснае галактычнае выпраменьванне (у яго ўваходзяць галоўным чынам высокаэнергетычныя пратоны) і сонечныя прамяні. Іх паходжанне звязваюць з пошугамі (успышкамі) на Сонцы. Першасныя касмічныя выпраменьванні ўзнікаюць у выніку вывяржэння і выпарэння матэрыі з паверхняў зорак і туманнасцяў касмічнай прасторы. У склад першасных касмічных прамянёў уваходзяць пратоны — дадатна заражаныя ядры вадароду (85%); альфа-часцінкі (13,5%); часцінкі больш цяжкіх ядраў — літыю, берылію, бору, вугляроду, азоту, кіслароду, фтору, жалеза (1,5—1,6%).

Першасныя касмічныя часцінкі валодаюць велізарнай энергіяй, але на шляху да Зямлі паступова губляюць яе ў выніку шматлікіх сутыкненняў з ядрамі атамаў паветра. З гэтай прычыны толькі некаторыя першасныя часцінкі касмічных прамянёў дасягаюць паверхні Зямлі. Пры ўзаемадзеянні з атамамі паветра яны набываюць уласцівасць фактараў іаінізацыі і ўтвараюць паток часцінак другаснага касмічнага выпраменьвання, у які ўваходзяць усе вядомыя сёння элементарныя часцінкі

і випраменьванні (мезоны, электроны і пазітроны, гама-кванты, хуткія і звышхуткія нейтроны).

На мяжы з атмасферай Зямлі інтэнсіўнасць касмічных прамянёў нязменная і складае каля дзвюх часцінак на 1 см^2 за 1 с. На гэтую велічыню амаль не ўплываюць час сутак або пара года. Магутнасць касмічнага выпраменьвання, якое дасягае зямной паверхні, значна вагаецца ў залежнасці ад геаграфічнай шырыні і вышыні над узроўнем мора.

Залежнасць магутнасці касмічных прамянёў ад шырыні абумоўлена магнітным полем Зямлі. Касмічныя прамяні, якія з'яўляюцца зараджанымі часцінкамі, адхіляюцца ў раёне экватара і збіраюцца каля полюсаў Зямлі ў выглядзе своеасаблівых лейкаў, таму магутнасць касмічнага выпраменьвання найменшая над экватарам і ўзрастае з набліжэннем да полюсаў. Высокімі магутнасцямі касмічнага выпраменьвання каля полюсаў тлумачаць вучоныя феномен паўночнага ззяння. Інтэнсіўнасць выпраменьвання залежыць і ад вышыні над узроўнем мора: з кожным кіламетрам яна павялічваецца амаль удвая. Касмічныя прамяні, якія валодаюць высокай пранікальнай актыўнасцю, узмацняюць прыродны радыеактыўны фон Зямлі на ўзроўні мора ў сярэднім на 25—30%.

Сонечная радыяцыя — гэта магутныя патокі радыеактыўных часцінак, яны суправаджаюць пошугі на Сонцы і ідуць ад яго. Тэмпература паверхні Сонца складае звычайна 5700°C , аднак зрэдку ў якой-небудзь яго зоне тэмпература павышаецца да мільёна градусаў. Такая актыўнасць пачынаецца са з'яўлення сонечных плямаў, якія час ад часу ператвараюцца ў пошугі. Пошугі на Сонцы развіваюцца хутка — на працягу некалькіх хвілін. Раптовыя патокі часцінак велізарнай магутнасці да-

сягаюць Зямлі таксама хутка — за 15 хвілін. Час з'яўлення пошугаў на Сонцы немагчыма дакладна прадказаць. Вядома толькі, што яны маюць тэндэнцыю паўтарацца праз 11 гадоў (1—2 падзеі на працягу 11-гадовага цыкла актыўнасці Сонца). У нашым часе пікі сонечнай актыўнасці адзначаліся ў 1948, 1959, 1970 гг. На працягу паловы часу ў кожным 11-гадовым цыкле актыўнасць мінімальная. Апошні цыкл сонечнай актыўнасці пачаўся ў верасні 1986 г. У сакавіку—красавіку 1990 г. на Сонцы назіраліся вельмі інтэнсіўныя пошугі. У кастрычніку 1991 г. узніклі падставы лічыць, што цыкл завяршыўся і актыўнасць павольна зніжаецца, аднак у лістападзе яна зноў узмацнілася. І хаця цыкл, як лічаць вучоныя, яўна ідзе да завяршэння, звяртае на сябе ўвагу той факт, што ўжо ў чатырох апошніх сонечных цыклах кожны наступны максімум быў вышэйшы за папярэдні і па колькасці плямаў, і па інтэнсіўнасці магнітнага поля.

Вядома, што касмічныя выпраменьванні, якія ідуць ад Сонца, з'яўляюцца ў асноўным пратонамі шырокага энергетычнага дыяпазону, а таксама гама-часцінкамі. Паколькі пошуг працягваецца некалькі гадзін, магчымая працягласць значна павышаных узроўняў магутнасці дозы складзе прыблізна 10—20 гадзін кожныя 11 гадоў.

Цікавая гісторыя адкрыцця касмічнага выпраменьвання. Зямная паверхня няспынна вылучае высокаэнергетычныя прамяні рассеяных у прыродзе радыенуклідаў. Ведаючы пра гэта, нямецкі фізік В. Гес у 1912 г. вырашыў даследаваць, наколькі высока яны пранікаюць у атмасферу. У часе падняцця вымяральнай апаратуры радыеактыўнасць некалькі зніжалася, аднак пасля дасягнення пэўнай вышыні пачала зноў прыкметна ўзрастаць. На вышыні 4800 м радыеактыўнасць ужо ў 4 разы

перавышала велічыні, якія адзначаліся Гесам унізе. Вучоны зрабіў вывад: апрача іанізацыйнай радыяцыі, вылучаемай зямнымі пародамі, на Зямлю паступае радыяцыя з космасу.

2.2. ПРЫРОДНЫЯ РАДЫЕАКТЫЎНЫЯ РЭЧЫВЫ

Прыродныя радыеактыўныя рэчывы шырока распаўсюджаны ў зямной кары і з'яўляюцца часткай рэчыва атмасферы. Мяркуюць, што звычайныя радыенукліды, якія знаходзяцца ў абалонцы Зямлі, узніклі адначасова з утварэннем планет Сонечнай сістэмы ці ў перыяд фармавання Зямлі як планеты. Яны заўсёды прысутнічаюць у следавых колькасцях у арганізмах раслін, жывёлаў і чалавека.

Вядома больш за 300 прыродных радыеактыўных элементаў. У залежнасці ад паходжання іх падзяляюць на дзве катэгорыі: першасныя (утварыліся адначасова з усімі хімічнымі элементамі ў перыяд фармавання Зямлі) і касмагенныя (утвараюцца пры ўзаемадзеянні касмічнага выпраменьвання з ядрамі стабільных элементаў).

Усе прыродныя радыенукліды належаць да трох групаў: 1) радыенукліды уранава-радыевага, актыніевага і торыевага шэрагаў; 2) радыенукліды, што стаяць па-за радыеактыўнымі шэрагамі; 3) касмагенныя радыенукліды, якія няспынна ўтвараюцца ў біясферы пры ўзаемадзеянні касмічнага выпраменьвання з рэчывам атмасферы.

Разгледзім больш падрабязна першую групу — тры прыродныя радыеактыўныя шэрагі: урану—радыю, торыю і актынію. Ядры цяжкіх натуральных радыенуклідаў няўстойлівыя, яны зазнаюць шматразовыя паслядоўныя ядравыя пераўтварэнні. У выніку ўзнікае ланцужок радыеактыўнага распаду з аднаго мацярынскага элемента (ад якога

атрымаў назву шэраг) з утварэннем элементаў, генетычна звязаных паміж сабой. Такі ланцужок мае назву радыеактыўнага шэрага. У радыеактыўныя шэрагі ўваходзяць 45 радыенуклідаў з перыядам паўраспаду ад $3 \cdot 10^{-7}$ с да $2,5 \cdot 10^5$ гадоў (табл. 1).

Зыходны элемент шэрагу урану—радыю уран-238 у выніку 14 паслядоўных радыеактыўных ператварэнняў (васьмі альфа- і шасці бэта-ператварэнняў) пераходзіць ва ўстойлівы ізатоп свінцу — свінец-206. Гэты шэраг складаецца з 18 радыенуклідаў і ўключае ў сябе радый-226, а таксама прадукты яго распаду, у прыватнасці радыеактыўны газ радон, цікавасць да якога вялікая (пра яго гаворка пойдзе ніжэй).

Роданачальнік шэрагу торыю — торый-232 шляхам 10 паслядоўных ператварэнняў (шасці альфа- і чатырох бэта-ператварэнняў) пераходзіць у стабільны ізатоп свінцу — свінец-208. Шэраг торыю складаюць 12 радыенуклідаў.

Шэраг актынію пачынае ізатоп урану — уран-235, які раней называлі актынауранам. Шляхам 11 ператварэнняў (сямі альфа- і чатырох бэта-ператварэнняў) уран-235 пераходзіць у стабільны ізатоп свінцу — свінец-207.

Для элементаў, з якіх пачынаюцца дадзеныя шэрагі, характэрны вельмі вялікі перыяд паўраспаду (гл. табл. 1). Большая частка прамежкавых прадуктаў распаду ў гэтых сем'ях належыць да кароткажыццёвых ізатопаў, колькасць якіх у навакольным асяроддзі ўвесь час папаўняецца ў працэсе распаду мацярынскіх радыенуклідаў.

У другую групу ўваходзяць прыродныя радыеактыўныя рэчывы, якія не маюць дачынення да радыеактыўных шэрагаў. Усім ім уласцівы вялікі перыяд паўраспаду — ад 10^7 да 10^{15} гадоў. Лічыц-

Таблиця 1. Природні радіонукліди сям'ї урану, торію і актинію

Нуклід	Символ	Период напіврозпаду	Тип розпаду
1	2	3	4

Сям'я урану-238

Уран-238	^{238}U	$1,4 \cdot 10^{10}$ г	α
Торій-234	^{234}Th	24,1 сут	β
	<i>m</i>		
Пратактыній-234	^{234}Pa	1,18 хвіл	β
Пратактыній-234	^{234}Pa	6,7 гадз	β
Уран-234	^{234}U	$2,48 \cdot 10^5$ г	α
Торій-230	^{230}Th	$8 \cdot 10^4$ г	α
Радій-226	^{226}Ra	1620 г	α
Радон-222	^{222}Rn	3,83 сут	α
Палоній-218	^{218}Po	3,05 хвіл	α, β
Свінец-214	^{214}Pb	27 хвіл	β
Астат-218	^{218}At	2 хвіл	α
Вісмут-214	^{214}Bi	19,7 хвіл	α, β
Палоній-214	^{214}Po	$1,64 \cdot 10^{-4}$ с	α, β
Талій-210	^{210}Tl	1,5 хвіл	β
Свінец-210	^{210}Pb	22 г	β
Вісмут-210	^{210}Bi	5,01 сут	α, β
Палоній-210	^{210}Po	138,3 сут	α
Талій-206	^{206}Tl	4,19 хвіл	β
Свінец-206	^{206}Pb	Стабільні	

Сям'я торію

Торій-232	^{232}Th	$1,4 \cdot 10^{10}$ г	α
Радій-228	^{228}Ra	6,7 г	β
Актиній-228	^{228}Ac	6,13 гадз	β
Торій-228	^{228}Th	1,9 г	α
Радій-224	^{224}Ra	3,64 сут	α
Радон-220	^{220}Rn	51,5 с	α
Палоній-216	^{216}Po	0,16 с	α, β
Свінец-212	^{212}Pb	10,6 гадз	β
Астат-216	^{216}At	$3 \cdot 10^{-4}$ с	α
Вісмут-212	^{212}Bi	60,5 хвіл	α, β
Палоній-212	^{212}Po	$3,04 \cdot 10^{-4}$ с	α
Талій-208	^{208}Tl	3,1 хвіл	β
Свінец-208	^{208}Pb	Стабільні	

1	2	3	4
<i>Сям'я актынію</i>			
Уран-235	^{235}U	$7,13 \cdot 10^8$ г	α
Торый-231	^{231}Th	25,64 гадз	β
Пратактыій-231	^{231}Pa	$3,43 \cdot 10^4$ г	α
Актыій-227	^{227}Ac	22 г	α, β
Торый-227	^{227}Th	18,6 сут	α
Францый-223	^{223}Fr	22 хвіл	β
Радый-223	^{223}Ra	11,69 сут	α
Радон-219	^{219}Rn	3,92 сут	α
Палоній-215	^{215}Po	$1,83 \cdot 10^{-3}$ с	β, α
Астат-215	^{215}At	10^{-4} с	α
Свінец-211	^{211}Pb	36,1 хвіл	β
Вісмут-211	^{211}Bi	2,16 хвіл	β, α
Палоній-211	^{211}Po	2,6 с	α
Талій-207	^{207}Tl	4,29 хвіл	β
Свінец-207	^{207}Pb	Стабільны	

ца, што гэтыя радыенукліды (калій-40, кальцый-48, ванадый-50, рубідый-87, цырконій-96, індый-115, тэлур-130, лантан-138, цэрый-142, неадым-144, неадым-150, лютэцый-176 і свінец-204) узніклі ў перыяд утварэння Зямлі.

Трэцяя група — так званыя касмагенныя радыенукліды. Пад уздзеяннем касмічнага выпраменьвання ўтвараюцца ізатопы, якія з'яўляюцца ў асноўным бэта-выпраменнікамі і маюць розныя перыяды паўраспаду: трытый (вадарод-3) — 12,3 года, берылій-7 — 53 сутак, берылій-10 — $2,5 \cdot 10^6$ гадоў, вуглярод-14 — 5700 гадоў, натрый-22 — 2,6 года, натрый-24 — 15 гадзін, магній-28 — 21,2 гадзіны, алюміній-26 — $7,4 \cdot 10^5$ гадоў, крэмній-31 — 2,6 гадзіны, крэмній-32 — 700 гадоў, фосфар-32 — 14,3 сутак, фосфар-33 — 25 сутак, сера-35 — 87 сутак, сера-38 — 2,9 гадзіны, хлор-36 — $3,1 \cdot 10^5$ гадоў, хлор-38 — 37,3 хвіліны, хлор-39 — 55,5 хвіліны, ар-

гон-32 — 270 гадоў, кrypton-81 — $2,1 \cdot 10^5$ гадоў (Р. М. Алексахин, 1982).

Існуюць даныя, якія сведчаць пра змяненне колькасці і актыўнасці прыродных радыенуклідаў з часам. Як адзначае Л. А. Булдакоў (Л. А. Булдаков, 1990), паводле разлікаў, ад часу ўтварэння Сонечнай сістэмы актыўнасць калію-40 знізілася ў 14,3 раза, урану-238 — у 2,1 раза, урану-235 — у 128 разоў і торыю-232 — у 1,3 раза. Ад часу ўтварэння зямной кары (каля $2 \cdot 10^9$ гадоў) актыўнасць калію-40, урану-238, урану-235 і трытыю-232 знізілася адпаведна ў 2,28; 1,4; 7,1; 1,1 раза.

2.3. РАЗМЕРКАВАННЕ ПРЫРОДНЫХ РАДЫЕНУКЛІДАў

А т м а с ф е р а. Прыродныя радыенукліды, якія прысутнічаюць у атмасферы, маюць рознае паходжанне: яны могуць паступаць з зямных парод або ўтварацца пры ўзаемадзеянні патоку касмічных прамянёў з рэчывам паветра. Радыенукліды ў паветры знаходзяцца ў газападобнай і аэразольнай форме. Асноўным носьбітам урану-235, радыю-226 і торыю-232 у атмасферы з'яўляецца дробнадысперсная фракцыя часцінак глебы. У газападобным стане ў атмасферы прысутнічаюць радон-222, радон-220 (тарон), вуглярод-14 і трытый, у выглядзе аэразоляў — калій-40, уран-238, радый-224, радый-226 і інш. Важную ролю ў фармаванні прыроднага радыяцыйнага фону сярод радыенуклідаў касмагеннага паходжання адыгрываюць трытый, вуглярод-14, берый-7 і натрый-22.

Большасць касмагенных радыенуклідаў, якія ўтварыліся ў атмасферы, трапляе на паверхню Зямлі з атмасфернымі ападкамі, цвёрдымі часцінкамі атмасферы і сарбуецца на іх, а таксама ў

выніку ўзаемадзеяння ў газападобнай форме з кампанентамі абалонак біясферы. Прыродны трытый, які ўтвараецца ў атмасферы ў асноўным у выніку ўзаемадзеяння касмічнага выпраменьвання (гама- і нейтроннага выпраменьвання высокіх энергій) з азотам, кіслародам і аргонам, уключаецца ў кругаварот вадароду і вады ў біясферы. Паколькі трытый знаходзіцца ў стратасферы ў асноўным у выглядзе пары, ён перамяшчаецца ў трапасферу з перыядам паўвывядзення каля 1 года. У працэсе глабальнай цыркуляцыі ў атмасферы трытый пранікае ў трапасферу пераважна ў веснавы перыяд для кожнага паўшар'я. На зямную паверхню ён выпадае разам з атмасфернымі ападкамі.

Радон, тарон і даччыныя прадукты іх распаду — найважнейшыя прыродныя радыенукліды. Радон — паветраны мігрант. Ён паступае ў прыземны пласт атмасферы з глебы. Канцэнтрацыя радону ў ёй залежыць як ад колькасці мацярынскіх радыенуклідаў радыю-224 і радыю-226, так і ад экалагічных фактараў (вільготнасць глебы, атмасферны ціск, тэмпература і інш.). Канцэнтрацыя радону ў атмасферы памяншаецца з вышынёй, тарон выяўляецца толькі каля зямной паверхні. У дастаткова шырокіх межах канцэнтрацыя радону ў прыземным пласце паветра можа варыяваць і ў залежнасці ад геаграфічных умоў. У прыземным пласце колькасць радону і тарону ў сярэднім складае 100 пКі/м^3 , у прыводным пласце яна прыкметна змяншаецца, а ў будынках значна павышаецца (400 пКі/м^3).

Радон, які ўтвараецца шляхам ператварэння радыю-226, вылучаецца з цвёрдай абалонкі Зямлі па трэшчынах горных парод у колькасці $0,6 \text{ МКі/год}$. З глыбінёй яго канцэнтрацыя ўзрастае. У па-

ветры шахтаў і руднікоў з дрэннай вентыляцыяй утвараюцца высокія канцэнтрацыі радону — да $2,5 \cdot 10^{-8}$ — $1,0 \cdot 10^{-7}$ Кі/л. Гэта з'ява назіраецца і ў тых выпадках, калі прыродны уран рассеяны ў горных пародах.

Радон з'яўляецца асноўнай крыніцай даччыных прадуктаў яго распаду — свінцу-210 і палонію-210, якіх можна аднесці як да паветраных, так і да водных мігрантаў. У паветраным асяроддзі перамяшчэнне свінцу-210 звязана галоўным чынам з міграцыяй мацярынскага радыенукліду радону. Свінец-210 даволі хутка асядае на аэразолі і часцінкі пылу, якія знаходзяцца ў паветры. Ва ўмовах раўнавагі ў атмасферы павінна было б змяшчацца каля 20 МКі свінцу-210 і палонію-210. Аднак у выніку вымывання і асаджэння трапасферных аэразоляў на Зямлю выпадае каля 50 кКі свінцу-210 і палонію-210. У сярэдніх шыроты Паўночнага паўшар'я ў прыземным пласце паветра канцэнтрацыя іх дасягае максімуму — адпаведна 14,0 і 3,3 фКі/м³ (Р. М. Алексахин, 1982). Перыяд паўачышчэння атмасфернага паветра ад прадуктаў распаду радону складае 10 сутак.

Горныя пароды. Глебы. Прыродныя радыенукліды, якія змяшчаюцца ў глебе, можна падзяліць на тры групы: 1) доўгажыцёвыя радыенукліды, перыяд паўраспаду якіх параўнальны з узростам Зямлі (калій-40, торый-232, уран-238); 2) прадукты распаду урана-радыевага і торыевага шэрагаў; 3) радыенукліды, што ўтвараюцца ў выніку ўзаемадзеяння касмічнага выпраменьвання з рэчывам (Р. М. Алексахин, 1982). Найбольш высокія канцэнтрацыі прыродных радыенуклідаў характэрныя для гранітаў і цяжкіх па механічным складзе гліністых парод, а нізкія — для пясчанікаў і базальтаў.

Колькасць радыенуклідаў у глебах мяняецца ў залежнасці ад іх канцэнтрацыі ў горных пародах: яна можа адрознівацца ў 1000 разоў. Самыя распаўсюджаныя радыенукліды — цяжкія прыродныя радыенукліды уран-238, торый-232 і калій-40. Яны вызначаюць у першую чаргу натуральную радыеактыўнасць глебаў і сканцэнтраваны пераважна ў горных гранітных пародах.

Прыродны уран параўнальна рэдка ўтварае буйныя радовішчы, аднак на Зямлі яго значна болей, чым серабра або ртуці. Прыродны уран — сумесь трох ізатопаў: урану-238 (99,28%), урану-235 (0,71%) і урану-234 (0,006%). Буйныя радовішчы уранавай руды знойдзены ў Аўстраліі, Канадзе, Расіі, Чэхіі, Славакіі, Конга, Паўднёвай Афрыцы, ЗША. Запасы торыю большыя, чым урану. Значныя залежы манацыту, які змяшчае уран і торый, выяўлены ў Бразіліі, Кітаі, Індыі і ЗША.

Канцэнтрацыя цяжкіх прыродных радыенуклідаў у глебах павялічваецца з поўначы на поўдзень, апрацоўка глебаў таксама вядзе да павышэння іх канцэнтрацыі. У ворных глебах Расіі яны складаюць 25 Бк/кг для шэрагу урану-238 і 28 Бк/кг для шэрагу торыю-232.

Шырока распаўсюджаны ў зямной кары радыеактыўны ізатоп калію — калій-40. Радыеактыўнасць калію-40 пераўзыходзіць сумарную радыеактыўнасць усіх іншых прыродных элементаў, ён мае найбольшае значэнне ў якасці дозаўтваральнага фактару. Яго актыўнасць у 1 тоне зямной кары ў 3,8 раза перавышае актыўнасць рубідыю-87 і амаль у 24 разы — торыю-232. Распад калію-40 суправаджаецца параўнальна жорсткім бэта- і гама-выпраменьваннем. Калій-40 шырока рассеяны ў глебах і з'яўляецца ўтрымліваецца глінамі ў выніку працэсаў сэрбцыі.

Гліністыя глебы больш багатыя на радыеактыўныя элементы, чым пясчаныя і вапнякі. Вельмі радыеактыўныя некаторыя сланцы, асабліва тыя, якія змяшчаюць арганічнае рэчыва. Так, канцэнтрацыя калію-40, урану-238 і торыю-232 у вапняках складае 2,4; 0,19 і 0,75 пКі/г, а ў сланцах — 19; 1,20 і 1,20 пКі/г адпаведна.

Радый, як і іншыя радыеактыўныя элементы, надзвычай рассеяны ў зямной кары і толькі ў асобных месцах сканцэнтраваны ў вялікай колькасці, дзе і распрацоўваецца. Згодна з некаторымі ацэнкамі, агульныя запасы радыю ў зямной кары складаюць 2 млн т. Там, дзе старажытныя геалагічныя ўтварэнні выступаюць на паверхню, узровень прыродных радыенуклідаў звычайна ў 2—3 разы перавышае сярэдні. Колькасць радыю-226, торыю-232 і калію-40 у горных пародах змяняецца ў залежнасці ад геалагічных умоў, таму велічыня вонкавага апраменьвання ад прыродных радыенуклідаў у розных раёнах Зямлі неаднолькавая.

У верхніх пластах глебы прысутнічаюць прадукты распаду радону — свінец-210 і палоній-210. Паступаюць яны сюды, па-першае, разам з сухімі і мокрывымі выпаданнямі з атмасферы, а па-другое, у сувязі з распадам радыю-226 у глебе. Уся колькасць свінцу-210, што асядае, затрымліваецца пры гэтым у верхнім гарызонце глебы — 0—10 см (0,2 і 0,1 пКі/г для сухіх і мокрых выпаданняў адпаведна). Сярэдняя канцэнтрацыя свінцу-210, звязаная з распадам радыю-226 у глебе, складае 0,7 пКі/г.

Устаноўлена, што ў сумесі ізатопаў колькасць таго ці іншага радыенукліду — пастаянная велічыня. Так, колькасць калію-40 у сумесі ізатопаў калію складае 0,0119% масы, рубідыю-87 у сумесі ізатопаў рубідыю — 27,85%.

Супрацоўнікамі лабараторыі геахімічных праб-
лем АН Беларусі пад кіраўніцтвам акадэміка К. І.
Лукашова вывучаны прыродная радыеактыўнасць
покрыўных адкладаў і глебаў Беларусі, а таксама
геахімічныя паводзіны радыеактыўных элементаў
у асадкавых адкладах і глебах на тэрыторыі на-
шай краіны. Як паказала даследаванне, прыродная
радыеактыўнасць глебавага покрыва Беларусі зна-
ходзіцца ў непасрэднай сувязі са складам глеба-
ўтваральных парод. Радый, які лёгка вышчало-
ваецца з парод, дзякуючы сваім хімічным уласці-
васцям не можа пераносіцца на вялікія адлегласці,
але даволі рухомы ў глебавым профілі; уран, на-
адварот, мае здольнасць пераносіцца на значныя
адлегласці, аднак досыць трывала замацоўваецца
ў глебавым профілі. Па ўзрастанні агульнай гама-
актыўнасці глебы Беларусі можна размясціць так:
тарфяна-балотныя, дзярнова-падзолістыя пясчаныя,
дзярнова-падзолістыя супясчаныя, дзярнова-падзо-
лістыя сугліністыя і гліністыя. Вызначэнне коль-
касці урану і радыю ў дзярнова-падзолістых глебах
рэспублікі дало наступныя лічбы: уран — $0,2 \cdot 10^{-4}$ —
 $5 \cdot 10^{-4}\%$, радый — $0,9 \cdot 10^{-11}$ — $4,83 \cdot 10^{-10}\%$ (сярэ-
днія велічыні адпаведна $1,9 \cdot 10^{-4}$ і $1,38 \cdot 10^{-10}\%$).
У глебах Беларусі назіраецца як вертыкальная, так
і гарызантальная міграцыя радыеактыўных эле-
ментаў (Геохимические провинции..., 1969).

Прыродныя воды. Рашчыненыя ў вадзе
радыеактыўныя рэчывы надаюць ёй радыеактыў-
насць. Рашчынныя комплексныя злучэнні урану,
торыю, радыю (усе яны належаць да водных міг-
рантаў) вымываюцца глебавымі водамі. З радые-
нуклідаў урана-радыевага шэрагу больш за ўсе
радону з даччынымі прадуктамі (свінец-210, пало-
ній-210 і радый-226). Канцэнтрацыя радыенуклі-
даў торыевага шэрагу меншая. Колькасць урану-

238 вагаецца ад 0,015 да 5 пКи/л, а урану-234 — прыкладна аднолькавая з узроўнем яго мацярынскага нукліду — урану-238. Канцэнтрацыя ў водах трэцяга ізатопу урану — урану-235 — у 20 разоў ніжэйшая. Штогадовы паток урану з водамі рэкаў роўны 0,5 ПБк.

Газападобныя прадукты радыеактыўных ператварэнняў — радон і тарон — у значнай ступені вызначаюць радыеактыўнасць прыродных водаў. Высакародны газ радон — альфа-выпраменнік з энергіяй часцінак 55 МэВ. На працягу сутак 1 грам радыю вылучае 1 мм³ радону. Перыяд паўраспаду радону складае 8 сутак. Радон, які вылучаецца з месцанараджэнняў урану, насычае грунтавыя воды і з імі можа выходзіць на паверхню. Колькасць радону ў прэсных водах вагаецца ад 1 пКи/л да 1 мкКи/л, аднак, як правіла, канцэнтрацыя гэтага рэчыва вельмі малая. Выключэннем з'яўляюцца крыніцы, якія маюць павышаную радыеактыўнасць і выкарыстоўваюцца ў медыцыне пры лячэнні суставаў, перыферычнай нервовай сістэмы, гінекалагічных захворванняў і інш. Знікненне сімптомаў хваробы, паляпшэнне самаадчування сведчаць пра тэрапеўтычнае дзеянне на арганізм малых дозаў іанізацыйнага выпраменьвання (дозы, якія на 1—2 парадкі перавышаюць прыродны радыяцыйны фон — 5—10 рад, або 0,05—0,1 Гр).

Канцэнтрацыя радыеактыўных элементаў у рэках ніжэйшая, чым у морах і азёрах. Колькасць радыенуклідаў у прэсnavодных крыніцах залежыць ад тыпу горных парод, кліматычных фактараў, рэльефу мясцовасці і г. д. Канцэнтрацыя урану ў паўднёвых рэках звычайна вышэйшая, чым у паўночных. Значнай колькасцю радыеактыўных элементаў характарызуюцца воды уранавых радовішчаў і мінеральныя (А. П. Виноградов, 1957).

У мінеральних водах Каўказа колькасць радыеактыўных ізатопаў радыю не перавышае $7,5 \cdot 10^{-9}$ Кі/л, радону — $2,6 \cdot 10^{-8}$ Кі/л. Колькасць калію-40 у водах рэкаў і азёраў прыкладна адпавядае колькасці радыю: у рэках — $7,7 \cdot 10^{-12}$ Кі/л, у азёрах — $1,3 \times 10^{-11}$ Кі/л.

У марской вадзе канцэнтрацыя радыю-234 знаходзіцца на ўзроўні 100 пКі/л, вугляроду-14 касмагеннага паходжання — 0,1—0,15, берылію-7 — 19 пКі/л. Колькасць вугляроду-14 касмагеннага паходжання ў паверхневым пласце марской вады роўная прыблізна 3 пКі/л, а ў паверхневых водах сушы — 6—14 пКі/л. У пітной вадзе колькасць прыродных радыенуклідаў складае для трытыю і калію-40 — 5 пКі/л, палонію-210 — 0,01, свінцу-210 — 0,02, радону з даччынымі прадуктамі — 10—100, радыю-226 — 0,1, урану-238 — 0,05 пКі/л. У дажджавой вадзе сярод радыенуклідаў, якія ўтвараюцца ў выніку касмічнага выпраменьвання, у найбольшых канцэнтрацыях прысутнічаюць трытый, берылій-7 і кароткажыццёвыя хлор-38 і хлор-39.

Такім чынам, колькасць натуральных радыенуклідаў у прыродных водах шырока мяняецца ў залежнасці ад іх паходжання, фізічна-хімічных уласцівасцяў і г. д.



3. РЭГІЁНЫ З ВЫСОКИМ УЗРОЎНЕМ ПРЫРОДНАЙ РАДЫАЦЫІ

На нашай планеце ёсць мясціны, дзе прыродны фон радыяцыі значна пераўзыходзіць звычайны. Гэта звязана з тым, што радыеактыўныя

рэчывы ў прыродных асяроддзях (горных пародах, глебах, водах) змяшчаюцца ў колькасцях, якія перавышаюць іх звычайны ўзровень. Вядома некалькі асноўных рэгіёнаў з высокім радыяцыйным фонам. Яны знаходзяцца ў Бразіліі, Індыі, Францыі і Егіпце.

У Індыі (штаты Керала і Мадрас) прыбрэжная зона даўжынёй 200 км і шырынёй у некалькі соцень метраў пакрыта манацытнымі пяскамі са значнай колькасцю радыеактыўнага торыю (8—10,5%). Гэта рэгіён з самым высокім у свеце ўзроўнем прыроднай радыеактыўнасці. Аналагічныя з'явы назіраюцца ў Бразіліі (штаты Міранас, Жояс, Гояс) у прыбрэжных палосах зямлі даўжынёй у некалькі кіламетраў і шырынёй у некалькі соцень метраў. На востраве Ніуэ (Ціхі акіян) фон іанізацыйнага выпраменьвання павышаны за кошт высокіх канцэнтрацый радыю ў глебе. Радыеактыўнасць расліны тара ў некалькіх мясцінах вострава перавышае яе радыеактыўнасць з іншых астравоў у 600 разоў. У Егіпце (раён паўночнай дэльты Ніла) павышаны прыродны фон радыяцыі зарэгістраваны ў некалькіх вёсках.

У Расіі таксама вядомы тэрыторыі з павышаным фонам прыроднай радыяцыі. Так, павышаная колькасць урану-238 і урану-234, торыю-232 і торыю-228 выяўлена на Урале. Паўднёвы Урал аднесены да уранавай анамаліі, Паўночны Урал — да уранава-торыевай анамаліі, Палярны Урал і Сярэдні Тыман — да інтэнсіўных торыевых анамалій.



4. ПАВОДЗІНЫ ПРЫРОДНЫХ РАДЫЕНУКЛІДАЎ У БІЯСФЕРЫ

4.1. МІГРАЦЫЯ РАДЫЕНУКЛІДАЎ

Важнае месца ў радыеэкалагічных даследаваннях займаюць пытанні міграцыі прыродных радыенуклідаў у біясферы і ўплыву прыроднага фону іанізацыйных выпраменьванняў на асобныя яе кампаненты. Радыеактыўных рэчываў у прыродзе шмат, і сваімі хімічнымі ўласцівасцямі радыеактыўныя ізатопы не адрозніваюцца ад стабільных. З гэтае прычыны ў адпаведнасці з хімічнымі і біялагічнымі законамі кругаўароту рэчыва ў прыродзе радыеізатопы ідуць разам са стабільнымі ізатопамі па ўсіх біялагічных і харчовых ланцугах.

У біягеннай міграцыі прыродных радыеактыўных рэчываў бяруць удзел усе жывыя арганізмы — мікраарганізмы, расліны, жывёлы, чалавек. Прысутнасць следавых колькасцяў радыенуклідаў у жывых арганізмах даказана шматлікімі даследаваннямі. Вывішчана, што расліны і жывёлы маюць здольнасць выбіральна назапашваць асобныя хімічныя элементы (у тым ліку радыеактыўныя) з рассеянага стану, у якім яны знаходзяцца ў навакольным асяроддзі, і актыўна ўплываюць на працэсы міграцыі прыродных радыеактыўных рэчываў у біясферы.

4.2. КОЛЬКАСЦЬ РАДЫЕНУКЛІДАЎ У РАСЛІНАХ І ЖЫВЁЛАХ

Радыенукліды засвойваюцца з глебы раслінамі ў працэсе іх мінеральнага жыўлення. Фактарамі, якія вызначаюць міграцыйную здольнасць

радыенуклідаў у глебе і іх пераход у расліны, з'яўляюцца фізічна-хімічная прырода радыенуклідаў і характар узаемадзеяння іх з цвёрдай фазай глебы. На засваенне радыенуклідаў робяць уплыў таксама біялагічныя асаблівасці раслін і ўмовы іх росту.

Прыродныя радыенукліды пры жыўленні трапляюць з расліннай біямасай у арганізм жывёлаў і назапашваюцца ў тканках. На назапашванне прыродных радыенуклідаў у жывых арганізмах уплываюць асаблівасці іх паступлення, размеркавання і вывядзення з арганізма (гл. раздзел 5.2).

Найбольшую ўдзельную актыўнасць у раслінах мае калій-40 ($1,2 \cdot 10^{-9} - 1 \cdot 10^{-8}$ Кі/кг). Асабліва вялікая яго колькасць у струковых: гароху, бобу, фасолі, соі. У жывёльных арганізмах калію-40 меней. Радыеактыўныя уран, торый і вуглярод сустракаюцца ў біялагічных аб'ектах у вельмі нязначных колькасцях у параўнанні з каліем-40. Па здольнасці назапашвацца ў раслінах прыродныя радыенукліды размешчаны ў наступнай паслядоўнасці: радый > уран > торый.

Сярод раслін выяўлены канцэнтратары радыю: рададэндран і багун даурскія, палын, піжма лясная. Магчыма, што павышанае назапашванне радыю абумоўлена недахопам у глебах кальцыю і іншых біягенных элементаў, хімічнымі аналагамі якіх з'яўляюцца радый і часткова уран.

Даследаванні, праведзеныя ў Беларусі, паказваюць, што ў раслінах колькасць радыю вагаецца ў межах ад $2,1 \cdot 10^{-12}$ да $2,5$ Бк/кг. Адзначана назапашванне радыю ў чарніцах ($2,6 \cdot 10^{-13}$ г/г попелу) і брусніцах ($2,1 \cdot 10^{-13}$ г/г попелу); у лісці бярозы і ігліцы хвойі яго менш ($14,8 - 12,5 \cdot 10^{-13}$ г/г попелу) і яшчэ менш у лішайнікавых, верасе і ядлоўцы ($9,7 \cdot 10^{-13}$ г/г попелу і меней).

Марскія водарасці і планктон (сукупнасць дробных раслінных і жывёльных арганізмаў, што жывуць у вадзе) змяшчаюць радыю ў 100 разоў больш, чым такая ж маса марской вады, з якой планктон атрымлівае жыўленне. Па харчовых ланцугах радый трапляе ў арганізм рыбы ($1,6 \cdot 10^{-2}$ — $5 \cdot 10^{-2}$ Бк/кг).

У невялікай колькасці з глебы ў расліны паступае торый. Для Беларусі прывядзем наступныя даныя. Пры колькасці торыю-232 у паверхневым пласце глебы $3,04 \cdot 10^{-6}$ г/г попелу больш за ўсё гэтага элемента змяшчаецца ў чарніцах, верасе і лішайніках ($5,29$ — $7,14 \cdot 10^{-6}$ г/г попелу), менш за ўсё ў лісці бярозы, ігліцы хвоі, брусніцах і ядлоўцы. Сярод жывёлаў максімальная колькасць торыю зафіксавана ў наземных малюсках ($9,51 \cdot 10^{-6}$ г/г попелу). Каэфіцыент назапашвання $1,3$ — $4,9$.

Лішайнікі, якія растуць у паўночных раёнах, характарызуюцца інтэнсіўным назапашваннем свінцу-210 і палонію-210, што паступаюць з паветра.

Радыеактыўны вуглярод-14, які ўтвараецца ў прыродных умовах пад уплывам бамбавання атмасфернага азоту нейтронамі касмічнага выпраменьвання, злучаецца з кіслародам паветра. У выніку ўтвараецца радыеактыўны двухвокіс вугляроду (CO_2). Добра вядома, што расліны паглынаюць CO_2 і ў працэсе фотасінтэзу ператвараюць яго ў складаныя арганічныя злучэнні. Такім чынам у раслінах назапашваецца вуглярод-14. Наземнымі біягеацэнозамі паглынаецца 10% вугляроду-14 атмасферы, астатнія 90% фіксуюцца марскімі арганізмамі, у асноўным фітапланктонам. У арганізме жывёлаў і чалавека, якія спажываюць расліны ў ежу, вуглярод у працэсе абмену рэчываў пераўтвараецца, акісляецца і выдаляецца пры дыханні

зноў у выглядзе CO_2 . Затым увесь гэты цыкл паўтараецца.

Вуглярод-14 змяшчаецца ў раслінах (а таксама ў арганізмах жывёлаў і чалавека) у пэўнай колькасці: на кожныя 1000 млрд атамаў вугляроду-12 (не радыеактыўнага), якія ёсць у жывой тканцы, прыпадае 1 атам вугляроду-14. Стасунак колькасці атамаў вугляроду-14 да колькасці атамаў вугляроду-12 нязменны: пад уплывам касмічнага выпраменьвання ўтвараецца столькі ж атамаў вугляроду-14, колькі знікае ў выніку радыеактыўнага распаду (перыяд яго паўраспаду 5,7 тыс. гадоў). Гэты важны паказчык выкарыстоўваецца ў навуковых даследаваннях: па вызначэнні колькасці вугляроду-14 у выкапнёвых рэштках раслін або жывёлаў падлічваюць іх узрост.

У сувязі з біялагічным дзеяннем прыродных радыеактыўных рэчываў вучоныя, якія працуюць у галіне радыеэкалогіі, асабліваю ўвагу аддаюць праблеме паступлення радыенуклідаў у прадукцыю сельскай гаспадаркі (раслінаводства і жывёлагадоўлі).

Пры міграцыі па біялагічных ланцужках біягеахімічна рухомыя прыродныя радыенукліды (калій-40, трытый, вуглярод-14, радый-226 і інш.) трапляюць у прадукты харчавання. Некаторыя радыенукліды могуць назапашвацца ў харчовых прадуктах у параўнальна высокіх канцэнтрацыях.

У найбольшых колькасцях у прадуктах харчавання змяшчаюцца калій-40 (у сярэднім 1 нКі/кг сырой масы) і рубідый-87 (100—150 пКі/кг сырой масы), а таксама радый-226. Колькасць радыю-226 у прадуктах у розных краінах вагаецца ад 0,01 да 15 пКі/кг, а сярэдняе спажыванне яго чалавекам складае каля 1 пКі/сут. Найбольш высокая канцэнтрацыя радыю-226 у збожжавых раслінах, мі-

німальная — у мясе (0,01 пКі/кг), малацэ (0,3 пКі/л), маргарыне (0,1 пКі/кг). Значнага ўзроўню колькасць радыю-226 можа дасягаць у арэхах (2,7—3,6 пКі/кг свежай масы). Колькасць торыю-228 у раслінных прадуктах вагаецца ад 0,003 да 10,6 пКі/кг свежай масы. Сельскагаспадарчыя культуры па інтэнсіўнасці назапашвання торыю размяшчаюцца ў наступны шэраг: буракі сталовыя < капуста < гарох < буракі цукровыя < агуркі < таматы.

У прадуктах харчавання шырока варыюе колькасць радыеактыўных ізатопаў урану: ад 0,01 мкг/л (малако) да 2—3 мкг/кг сырой масы (масла, маргарын, бульба). Штодзённае паступленне урану ў арганізм чалавека з ежай у розных краінах знаходзіцца ў межах ад 0,5 да 6,0 мкг, з вадой — ад 0,05 да 0,45 мкг (у рэгіёнах з анамальна высокай колькасцю урану ў зямной кары яго паступленне з вадой можа дасягаць 300 мкг у дзень). Штогод паступленне урану з харчовымі прадуктамі складае ў сярэднім 360 мкг, з вадой — 40 мкг.

Колькасць свінцу-210 у збожжавых прадуктах, агародніне і мясе звычайна вагаецца ад 2 да 5 пКі/кг. Колькасць свінцу-210 і палонію-210 у малацэ прыкладна ў 10 разоў меншая. Іх паступленне ў арганізм з ежай складае ад 0,25 да 10 пКі/сут; доля вады ў гэтым працэсе абмяжоўваецца некалькімі працэнтамі. У рэгіёнах з нармальным прыродным радыяцыйным фонам сярэдняе паступленне свінцу-210 і палонію-210 дасягае 3 пКі/сут.

Высокай колькасцю свінцу-210 і палонію-210 характарызуюцца марскія прадукты. Канцэнтрацыя гэтых радыенуклідаў у рыбе, малюсках, ракападобных, а таксама ў марскіх раслінах неаднолькавая — ад 10 да 10000 пКі/кг сырой масы, нягледзячы на даволі раўнамернае размеркаванне

радыенуклідаў у Сусветным акіяне. Колькасць свінцу-210 і палонію-210 у мяккіх тканках ракападобных прыкметна вышэйшая, чым у прыдатных да ежы частках рыбы, малюскаў і марскіх раслін.

Адзначым, што колькасць радыенуклідаў у прадуктах харчавання ў значнай ступені залежыць ад узроўню радыеактыўнасці асяроддзя.

4.3. НАЗАПАШВАННЕ РАДЫЕНУКЛІДАЎ У АРГАНІЗМЕ ЧАЛАВЕКА

Прыродныя радыенукліды ў харчовым ланцугу: расліны—жывёлы—чалавек трапляюць у арганізм чалавека, назапашваюцца ў ім і выклікаюць унутранае апраменьванне за кошт інкарпараваных выпраменьвальнікаў (гл. раздзел 5). Спынімся на некаторых з іх.

У арганізм чалавека нязменна паступае радыеактыўны вуглярод-14 — пераважна з расліннай і асабліва жывёльнай ежай, а таксама з вадой і часткова пры ўдыханні (не больш за 1%). Вуглярод-14 уваходзіць у склад цела чалавека.

Аналагічным чынам трапляе ў арганізм і трытый (^3H). Вада, у якой змяшчаецца трытый у форме ^3HNO , паступае ў страўнікава-кішачны тракт, цалкам усмоктваецца і хутка размяркоўваецца ў цэле праз сістэму кровазвароту. Галоўнае дэпо трытыю ў арганізме чалавека — вада тканак. Вуглярод-14 і трытый належаць да крыніц асноўнага радыеактыўнага фону, пад уздзеяннем якога чалавек знаходзіцца пастаянна.

Калій — адзін з самых біягенна актыўных элементаў, якія назапашваюцца ў жывых арганізмах у высокай канцэнтрацыі. Як ужо гаварылася, сярод ізатопаў калію радыеактыўным з'яўляецца адзін — калій-40 (яго колькасць у сумесі $1,19 \times$

$\times 10^{-2}\%$). Колькасць калію ў органах і тканках чалавека вагаецца ад 0,5 (касявая тканка без мозгу) да 4,4 г/кг (чырвоны касявы мозг), канцэтрацыя калію-40 складае адпаведна ад 0,38 да 3,36 пКі/г. Агульная колькасць калію ў целе чалавека — 140 г (калію-40 — 107,2 нКі). Вызначаны ўзроставыя змяненні колькасці калію: максімум адзначаны ў мужчын у 22 гады — 150 г, да 70 гадоў гэтая лічба значна зніжаецца — да 116 г. У арганізме жанчын узровень калію ніжэйшы, максімум адзначаны ва ўзросце 22—50 гадоў — 100 г.

Радыеізатопаў урану (уран-234, уран-235 і уран-238) таксама выяўлены ў арганізме чалавека. Паводле вынікаў даследаванняў А. Ф. Маленчанкі (А. Ф. Маленченко, 1973), выкананых у Беларусі, канцэтрацыя прыроднага урану ў тканках чалавека (у прыватнасці, жыхароў г. Мінска) знаходзіцца ў межах $0,3\text{--}1,03 \cdot 10^{-6}$ г/100 г сырога рэчыва. Агульная колькасць урану ў арганізме складае $3,06 \cdot 10^{-4}$ г. Найбольш высокі яго ўзровень адзначаны ў скуры — $1,03 \cdot 10^{-6}$ г/100 г, затым у наднырачніках ($0,91 \cdot 10^{-6}$ г/100 г), шчытападобнай залозе ($0,79 \cdot 10^{-6}$ г/100 г), мышцах ($0,77 \cdot 10^{-6}$ г/100 г), селязёнцы ($0,72 \cdot 10^{-6}$ г/100 г). Эндакрыныя залозы, такім чынам, належаць да органаў з найбольш высокай канцэтрацыяй прыроднага урану. Самая малая колькасць урану ў сэрцы ($0,45 \cdot 10^{-6}$ г/100 г). Высокая канцэтрацыя урану ў апорна-покрывальных тканках назіралася даследчыкамі і на іншых біялагічных аб'ектах — напрыклад, у тутавага шаўкапрада найбольшая колькасць урану змяшчаецца ў хіцінавай абалонцы — $6,78 \cdot 10^{-6}$ г/г і ў кокане — $7,84 \cdot 10^{-6}$ г/г.

У біялагічным аспекце сярод 13 ізатопаў радыю найбольш цікавым з'яўляецца радый-226. Важна

адзначыць, што ізатопы радыю як аналагі шчолачназямельнага і біялагічна актыўнага кальцыю характарызуюцца найбольшай рухомасцю і ўключэннем у цыклы міграцыі ў вонкавым асяроддзі. Асноўнай крыніцай радыю-226 для чалавека з'яўляюцца харчовыя прадукты; паступленне з паветрам нязначнае. У арганізме чалавека радый канцэнтруецца галоўным чынам у касцях (70—90%), г. зн. радый — астэатропны элемент. Сярэдняя канцэнтрацыя радыю-226 у попеле касцей чалавека ў розных краінах вагаецца ад 4 да 39 фКі/г. Узровень радыю-226 у мяккіх тканках складае 17% ад агульнай яго колькасці ў целе (0,13 пКі/кг).

У арганізме чалавека змяшчаюцца і радыеактыўныя ізатопы торыю — торый-232, торый-230 і торый-228, якія трапляюць у яго з паветрам пры дыханні і з харчовымі прадуктамі. У страўнікава-кішачным тракце ўсмоктванне торыю-232 невялікае. Колькасць торыю-232 у попеле касцей чалавека павышаецца з узростам і складае 0,1—72 нг/г попелу (0,01—8 фКі/г попелу). Канцэнтрацыя торыю-232 у касцявой тканцы 40-гадовага чалавека ў сярэднім роўная 6,4 пг/г попелу (0,71 фКі/г попелу), што прыкладна ў 10 разоў менш, чым урану-238. Колькасць торыю-232 у касцях і мяккіх тканках на сырую масу адпаведна роўная 2,3 пг/г (0,26 фКі/г) і 0,46 пг/г (51 фКі/г). На долю торыю-228 і прадуктаў яго распаду прыпадае 40% усіх ізатопаў з альфа-выпраменьваннем. У касцявой тканцы чалавека яго змяшчаецца 4 фКі/г попелу (1,2 фКі/г сырой масы). Колькасць торыю-228 у касцяку чалавека складае 11 пКі, а ва ўсім целе — 14 пКі, канцэнтрацыя торыю-228 у мяккіх тканках складае 0,05 фКі/г сырой масы.

Такім чынам, паступленне прыродных радыеактыўных рэчываў у арганізмы раслін, жывёлаў і

чалавека — працэс непазбежны. Ён абумоўлены дзвюма асноўнымі прычынамі: нязменнай прысутнасцю прыродных радыеактыўных рэчываў у навакольным асяроддзі і абменам рэчываў паміж арганізмам і асяроддзем. Міграцыя прыродных радыенуклідаў адбываецца па харчовым ланцугу: расліны—жывёлы—чалавек. Прыродныя радыеактыўныя рэчывы выклікаюць унутранае апраменьванне арганізма, г.зн. апраменьванне за кошт інкарпараваных выпраменнікаў.



5. ПРЫРОДНЫ РАДЫЕАКТЫЎНЫ ФОН І ДОЗЫ АПРАМЕНЬВАННЯ ЧАЛАВЕКА

5.1. АГУЛЬНАЯ ХАРАКТАРЫСТЫКА РАДЫЕАКТЫЎНАГА ФОНУ І АПРАМЕНЬВАННЯ НАСЕЛЬНІЦТВА

Прыродны радыеактыўны фон, які ствараецца касмічным выпраменьваннем, а таксама рассеянymi ў горных пародах, глебах, вадзе і паветры радыеактыўнымі ізатопамі многіх хімічных элементаў, робіць уплыў на ўсё жывое на Зямлі, у тым ліку і на чалавека. Гэта ўздзеянне пастаяннае і пазбегнуць яго немагчыма. Дозы апраменьвання ад прыроднага фону могуць вельмі розніцца ў залежнасці ад рэгіёна. Ёсць раёны з нармальным прыродным фонам радыяцыі, раёны з прыродна-павышаным фонам натуральнай радыяцыі і раёны з тэхнагенна-павышаным фонам натуральнай радыяцыі.

Чалавек апраменьваецца ў выпадках, калі крыніцы іанізацыйнага выпраменьвання, якія знаходзяц-

ца па-за арганізмам, уздзеяннічаюць на яго звонку (вонкавае апраменьванне) і знутры — ад радыеактыўных рэчываў, якія трапілі ў арганізм (унутранае апраменьванне). Пры абодвух відах апраменьвання незалежна ад шляху, па якім выпраменьванне дасягае тканак арганізма, першаснымі працэсамі, што адбываюцца ў апрамененым асяроддзі, з'яўляюцца іанізацыя і ўзбуджэнне атамаў. Менавіта гэтыя эфекты ляжаць у аснове ўздзеяння радыяцыі на біялагічныя аб'екты.

5.2. НАРМАЛЬНЫ ПРЫРОДНЫ РАДЫЯЦЫЙНЫ ФОН

Вонкавае апраменьванне ад прыродных крыніц выпраменьвання. Вонкавае апраменьванне выклікае глыбока пранікальная (гама-выпраменьванне, рэнтгенаўскія прамяні і нейтроны, якія могуць зрабіць уздзеянне на любыя органы і тканкі) і неглыбока пранікальная (бэта-прамяні з высокай энергіяй) радыяцыя. Пры гэтым адбываецца больш-менш раўнамернае апраменьванне ўсяго цела.

Асноўная крыніца вонкавага апраменьвання — касмічнае выпраменьванне. Яго ўзровень параўнальна стабільны, але разам з тым неаднолькавы на розных геаграфічных шырынях. Радыяцыйнае ўздзеянне касмічнага выпраменьвання мацнейшае каля Паўночнага і Паўднёвага полюсаў, ніжэйшае ў экватарыяльных абласцях, бо магнітнае поле Зямлі адхіляе зараджаныя часціцы, з якіх у асноўным і складаюцца касмічныя прамяні (гл. раздзел 2.1).

У значнай ступені ўзровень радыяцыі залежыць і ад вышыні: чым вышэй над узроўнем мора, тым большая доза апраменьвання. Гэта тлумачыцца тым, што пласт паветра, які адыгрывае ролю ахоў-

нага экрана, з вышынёй памяншаецца. Людзі, якія жывуць на ўзроўні мора, атрымліваюць за кошт касмічных прамянёў эфектыўную эквівалентную дозу каля 0,3—0,37 мЗв за год, а тыя, што жывуць на вышыні 4000 над узроўнем мора, — ужо 1,75 мЗв за год. На вяршыні Эверэста (8848 м над узроўнем мора) доза касмічнага апраменьвання складае 8 мЗв за год. Пасажыры і экіпажы транскантынентальных авіялайнераў, якія ўзнімаюцца на вышыню да 12 000 м, апраменьваюцца яшчэ больш. Падлічана, што ўзровень апраменьвання практычна падвойваецца праз кожныя 1500 м.

Пэўную цікавасць уяўляюць звесткі пра дозы, якія атрымліваюцца ад касмічнага кампанента радыяцыі на адкрытай мясцовасці Сярэдняй Азіі. Найбольшыя дозы апраменьвання атрымлівае насельніцтва Кіргізіі, Арменіі і Таджыкістана. У асобных раёнах гэтых краін дозы звычайнага апраменьвання за кошт касмічнага выпраменьвання значна перавышаюць сярэднія велічыні — 6,81—6,96 мЗв за год.

Нягледзячы на адзначаныя адрозненні, для пераважнай часткі насельніцтва Зямлі дыяпазон індывідуальных дозаў ад прыродных крыніц радыяцыі лічыцца невялікім — 50—100% сярэдніх велічыняў. Сярэдняя магутнасць дозы касмічнага апраменьвання жыхароў нашай планеты складае каля 0,5 мЗв за год. Гэта тлумачыцца тым, што большая частка гарадоў размешчана прыкладна на палове адлегласці паміж экватарам і зонамі полюсаў на вышыні, блізкай да ўзроўню мора.

Другая крыніца вонкавага апраменьвання — прыродныя радыенукліды. Гэта як радыеактыўныя ізатопы (трытый, берый-7, вуглярод-14, натрый-22, натрый-24 і інш.), што ўтвараюцца за кошт касмічнага выпраменьвання, так і радыенукліды, якія знаходзяцца ў горных пародах, глебах і водах. Да

апошніх належаць радыенукліды радыеактыўных шэрагаў урану — радыю, торыю, актынію, а таксама радыенукліды па-за радыеактыўнымі шэрагамі — калій-40, рубідый-87.

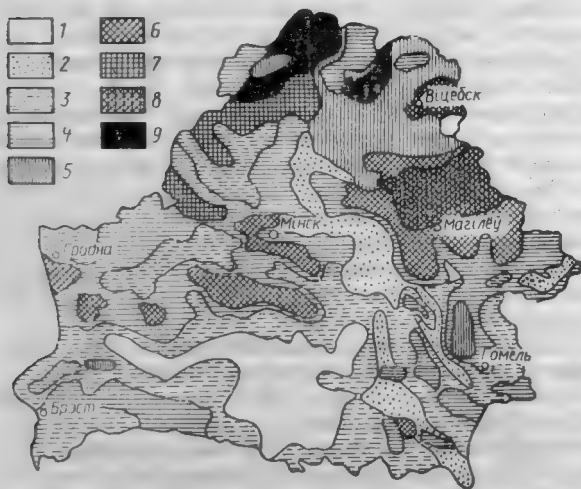
Асноўны ўклад у дозу вонкавага апраменьвання робяць гама-выпраменьнікі шэрагаў урану — радыю, торыю і калій-40. На магутнасць паглынутай дозы ўплываюць экалагічныя ўмовы. Снежнае покрыва, напрыклад, экрануе выпраменьванне — памяншае велічыню паглынутай дозы. Вызначана, што сярэдняя паглынутая доза, якая ствараецца гама-выпраменьваннем калію-40, прадуктамі распаду урану-235 і торыю-232, складае адпаведна 35; 25 і 40% агульнай паглынутай дозы ад усіх зямных крыніц выпраменьвання.

Для асноўнай масы насельніцтва былога СССР, якая жыве на раўнінных тэрыторыях, сярэдняя доза, абумоўленая касмічным выпраменьваннем, складае каля 0,3 мЗв за год, за кошт гама-выпраменьвання глебы і паветра, якое ствараецца прыроднымі радыенуклідамі, — таксама 0,3 мЗв за год (Ярмоненко, 1988).

Прыродны гама-фон на тэрыторыі Беларусі ў 1981—1982 гг. істотна не адрозніваўся ад іншых рэгіёнаў былога СССР. Да такой высновы прыйшлі В. М. Цярноў і А. Г. Кандрацьеў (В. М. Тернов, А. Г. Кондратьев, 1990) на падставе праведзеных даследаванняў. Велічыні прыроднага гама-фону на тэрыторыі асобных гарадоў (Мінск, Віцебск, Салігорск, Барысаў) вагаліся ў невялікіх межах — 10,0—12,1 мкР/гадз (у сярэднім $10,6 \pm 0,8$ мкР/гадз). У сельскай мясцовасці гама-фон знаходзіўся на ўзроўні $9,0 \pm 0,8$ мкР/гадз. Паводле вынікаў вымярэнняў гама-фону ў будынках, узведзеных з розных будаўнічых матэрыялаў, яго найменшы ўзровень быў адзначаны ў драўляных дамах (у Мінску — $11,3 \pm$

$\pm 1,7$ мкР/гадз). Гама-фон у будынках з цэглы і жалезабетону істотна не розніўся і ў сярэднім складаў адпаведна $17,8 \pm 2,3$ і $17,7 \pm 2,4$ мкР/гадз.

Найбольш поўна звесткі пра ўзровень прыроднай радыеактыўнасці на тэрыторыі Беларусі пададзены ў працах геалагаў і геахімікаў рэспублікі. Складзена карта радыелагічнага стану на снежань 1980 г. (гл. малюнак). Высветлілася, што прыродны радыеактыўны фон па ўзроўні экспазіцыйнай дозы выпраменьвання ў рэспубліцы вагаўся ў залежнасці ад пункта вымярэння ад 2 да 12 мкР/гадз. Самая



Карта радыеактыўнай абстаноўкі на тэрыторыі БССР па стане на снежань 1980 г. (В. К. Лукашев, 1983): 1 — магутнасць экспазіцыйнай дозы 1—2 мкР/гадз; 2 — 2—3; 3 — 3—5; 4 — 5—6; 5 — 7—8; 6 — 8—9; 7 — 9—10; 8 — 10—11; 9 — 11—12 мкР/гадз

малая велічыня радыяцыйнага фону адзначана ў раёне Мазыра — 2 мкР/гадз; больш высокая радыеактыўнасць парод, а значыць, і больш высокая магучасць экспазіцыйнай дозы выпраменьвання — 12 мкР/гадз — характэрныя для паўночных раёнаў Беларусі, дзе ёсць асадкавыя гліністыя пароды, звычайна ўзбагачаныя уранам. Такі радыяцыйны фон адпавядае колькасці гама-выпраменьных ізатопаў у глебах на ўзроўні 0,05—0,5 Кі/км².

Такім чынам, для нашай рэспублікі нармальны ўзровень прыроднага гама-фону складае 0,01—0,015 мР/гадз (10—15 мкР/гадз).

Унутранае апраменьванне ад прыродных крыніц выпраменьвання. Пад унутраным апраменьваннем разумеюць апраменьванне ад радыеактыўных рэчываў, якія паступілі ўнутр арганізма. Шляхі паступлення радыенуклідаў наступныя: праз лёгкія пры дыханні, разам з вадой і ежай, праз пашкоджаную і непашкоджаную скуру.

Заканамернасці паступлення, усмоктвання, размеркавання і кратнасці назапашвання ў арганізме прыродных (і штучных) радыеактыўных рэчываў, а таксама фармавання паглынутых дозаў радыяцыі ў розных органах і тканках вывучаны дастаткова добра.

Пры паступленні радыеактыўных рэчываў праз органы дыхання радыеактыўныя часцінкі могуць затрымлівацца на кожным участку дыхальнага тракту — ад прыдзвер'я носа да альвеолаў лёгкіх. Паміж велічынёй часцінкі і глыбінёй яе пранікнення існуе залежнасць: чым меншыя часцінкі, тым меней іх затрымліваецца ў верхніх дыхальных шляхах на бронхах і тым болей пранікае ў глыбокія альвелярныя аддзелы лёгкіх. Нерашчынныя часцінкі пасля паступлення ў альвеолы лёгкіх і знаходжання там доўгі час выклікаюць апраменьванне лёгачнай

тканкі. Рашчынныя радыенукліды ўсмоктваюцца ў кроў.

Даследаванні паказалі, што пры паступленні радыеактыўных рэчываў праз органы стрававання асабліва значнай з'яўляецца ступень рашчыннасці радыенуклідаў, якая вызначаецца стасункам іх колькасці, што ўсмакталася ў кроў, да часткі, выведзенай з экскрэментамі. Пры нізкіх рашчыннасці і ўсмоктванні пашкоджваецца галоўным чынам эпідэмай кішэчніка, прычым гэта залежыць ад тыпу выпраменьніка і працягласці яго кантакту са слізістай абалонкай кішэчніка.

Менш вывучаны шлях паступлення радыеактыўных рэчываў праз скуру. Яшчэ нядаўна непашкоджаную скуру лічылі эфектыўным бар'ерам для радыенуклідаў. Зараз гэты пункт погляду змяніўся. Высветлілася, што хуткасць іх паступлення ў арганізм чалавека праз непашкоджаную скуру такая ж, як і ў выпадку пранікнення праз дыхальныя шляхі. Пранікальнасць скуры рэзка павялічваецца пры пашкоджанні рагавога пласта эпідэрмісу, пад уздзеяннем многіх хімічна актыўных рэчываў, у прыватнасці рашчыннікаў, якія маюць здольнасць абястлушчваць. Пры паступленні радыенуклідаў праз скурнае покрыва ствараецца небяспека апраменьвання як скуры, так і ўнутраных органаў, куды яны трапляюць дзякуючы крываток (Ярмоненко, 1988).

Ступень і характар прамянёвага ўздзеяння істотна залежаць ад многіх фактараў: велічыні энергіі і віду выпраменьвання, фізічнага і біялагічнага перыядаў паўраспаду ізатопа, шляхоў і працягласці паступлення радыеактыўных рэчываў у арганізм, асаблівасцяў паводзінаў у ім (здольнасць да назапашвання, характар размеркавання, хуткасць вывадзення і інш.).

Паводзіны інкарпараваных (тых, якія паступілі ўнутр арганізма) радыенуклідаў абумоўлены іх хімічнымі ўласцівасцямі. Некаторыя (вуглярод-14, трытый, калій-40, палоній-210) размяркоўваюцца ў тканках параўнальна раўнамерна (раўнамерны тып размеркавання), іншыя назапашваюцца ў пэўных органах і тканках. Так, радый-226, торый-232 і уран-238 назапашваюцца ў касцявой тканцы, а радон-222 — у эпідэміі бронхаў. У гэтых выпадках гавораць пра касцявы і лёгачны тыпы размеркавання. Хуткасць выяўлення радыеактыўных рэчываў з арганізма залежыць ад хуткасці іх біялагічнага выяўлення і ад перыяду радыеактыўнага паўраспаду.

Паглынутае доза ўнутранага апраменьвання ствараецца галоўным чынам альфа- і бэта-часцінкамі, якія выпраменьваюцца радыенуклідамі, што знаходзяцца ўнутры арганізма. Да найбольш распаўсюджаных прыродных радыенуклідаў, якія выклікаюць унутранае апраменьванне, належаць калій-40, вуглярод-14, радый-226, радый-228 і даччыныя прадукты распаду радыю — свінец-210 і радон-222. Ізатопы урану з'яўляюцца альфа-выпраменнікамі і не робяць значнага ўкладу ў дозу ўнутранага апраменьвання людзей з прычыны нізкай канцэнтрацыі іх у навакольным асяроддзі.

Радыеактыўныя рэчывы, якія назапашваюцца ў розных органах і тканках, выклікаюць іх апраменьванне. Паглынутыя дозы выпраменьвання і ўдзельныя актыўнасці радыенуклідаў у органах і тканках вядомы, разлічаны і гадавыя паглынутыя дозы. Напрыклад, гадавая эфектыўная эквівалентная доза, якая ўтвараецца за кошт вугляроду-14, роўная 12 мкЗв, рубідыю-87—6,0 мкЗв, калію-40 — 180,0 мкЗв. Калій-40 з'яўляецца галоўным дозаўтваральным радыенуклідам.

Касмагенныя радыенукліды таксама робяць

уплыў на велічыню ўнутранага апраменьвання чалавека. Па назапашванні ў арганізме яны размяркоўваюцца наступным чынам: вуглярод-14 > натрый-22 > трытый > берый-7, а па велічыні гадавой паглынутае дозы — вуглярод-14 (12 мкЗв) > берый-7 (3 мкЗв) > натрый-22 (0,2 мкЗв) > трытый (0,01 мкЗв). Вызначана іх актыўнасць у органах і тканках чалавека і разлічаны гадавыя паглынутыя дозы.

Радон-222, радон-220 і іх кароткажыццёвыя прадукты распаду належаць да групы асноўных крыніц унутранага апраменьвання чалавека. Яны з'яўляюцца альфа-выпраменнікамі і таму ўяўляюць вялікую небяспеку. Гэта група радыенуклідаў паступае ў атмасферу галоўным чынам з глебы, а ў арганізм — пры дыханні. У памяшканнях прамяняе ўздзеянне звычайна выклікае радон-222. Тут яго канцэнтрацыя вышэйшая, чым на вольным паветры. Асноўную дозу апраменьвання ад радону-222 чалавек атрымлівае ўнутры памяшканняў. За кошт ізатопаў радону пры паступленні іх праз органы дыхання ў арганізм фармуюцца наступныя гадавыя эфектыўныя дозы: пры апраменьванні па-за памяшканнямі для радону-220 — 0,2, радону-222 — 1,8 мкЗв, пры апраменьванні ўнутры памяшканняў для радону-220 — 0,22, для радону-222 — 1,0 мЗв.

Вымярэнні колькасці інертнага газу радону ў жылых памяшканнях дазволілі атрымаць важныя з практычнага пункту погляду вынікі. Высветлілася, што канцэнтрацыя радону ў некаторых кватэрах (асабліва ў дамах са шлакабетону) у два разы вышэйшая, чым на вольным паветры. Хаця гэтыя канцэнтрацыі і не перавышаюць межава дапушчальных для радону, працяглае знаходжанне ў такіх памяшканнях непажадана (галоўным чынам з прычыны магчымых генетычных вынікаў). Таму ў цяпераш-

нім часе праводзіцца пільны кантроль радыеактыўнасці шлакабетону, які выкарыстоўваецца для вытворчасці будаўнічых матэрыялаў. Частае правядзенне памяшканняў вядзе да змянення раўнавагі паміж радонам і прадуктамі яго распаду і істотна зніжае колькасць радону ў паветры жылых і службовых памяшканняў (табл. 2). Тым самым змяншаецца верагоднасць магчымага адмоўнага прамянёвага ўздзеяння на людзей, якія ў іх знаходзяцца. Адзначым важную акалічнасць: у тых людзей, якія кураць, павелічэнне дозы апраменьвання звязана з узростаннем прамянёвай нагрузкі на лёгкія. Паводле некаторых даных, канцэнтрацыя палонію-210 у лёгкіх у людзей, якія не кураць, мае велічыню 3 пКі/кг, свінцу-210 — 6 пКі/кг, а ў тых, хто курыць, яна больш высокая адпаведна ў 3 і 1,5 раза.

Істотны ўклад у дозу ўнутранага апраменьвання робяць і прадукты распаду радону — свінец-210 і палоній-210. Пры гэтым 70% свінцу-210, які трапляе

Табліца 2. Наяўнасць радону ў памяшканнях

Тып памяшкання і характар вентыляцыі	Канцэнтрацыя радону, пКі/л
Добра вентыляваныя службовыя памяшканні (з кандыцыянаваннем паветра)	0,06—0,35
Кватэры ў цагляных дамах з кандыцыянаваннем паветра	0,01—0,19
Кватэры ў драўляных дамах	0,03—1,7
Невентыляваныя кватэры	
цагляныя дамы	1,5—2,9
ніжнія паверхі	0,7—1,0
верхнія паверхі	2,3—5,8
камяніцы	4,0—8,0
дамы са шлакавых панеляў	3,6—7,8
сутарэнныя памяшканні з дрэннай вентыляцыяй	

Табліца 3. Апраменьванне ад прыродных крыніц іанізуючага выпраменьвання ў раёнах з нармальным узроўнем радыяцыі (НКДАР ААН, 1982)

Крыніца	Гадавая эфектыўная эквівалентная доза, мЗв		
	Вонкавае апраменьванне	Унутранае апраменьванне	Сума
Касмічныя прамяні	0,28		0,28
іанізуючы кампанент нейтроннага кампанента	0,02		0,02
Касмагенныя радыёнукліды		0,015	0,015
Радыёнукліды зямной кары			
калій-40	0,12	0,18	0,30
рубідый-87		0,006	0,006
Сям'я урану-238	0,09	0,95	1,04
Сям'я торыю-232	0,14	0,19	0,33
Усяго	0,65	1,34	2,0

У арганізм, назапашваецца ў касцяку, палоній-210 у асноўным канцэнтруецца ў мяккіх тканках. Сумарная велічыня гадавой эфектыўнай дозы, якая фармуецца за кошт унутранага апраменьвання, складае 1,34 мЗв, а частка дозы, якую арганізм атрымлівае ад вонкавага апраменьвання, значна ніжэйшая — 0,65 мЗв за год.

Абагульненыя звесткі пра сярэднія ўзроўні апраменьвання ад прыроднага радыяцыйнага фону пададзены ў табл. 3. Яны паказваюць, што гадавая доза апраменьвання для кожнага жыхара Зямлі складае ў сярэднім 2 мЗв. Асноўную дозу ад прыродных крыніц чалавек атрымлівае за кошт унутранага апраменьвання. У рэгіёнах з натуральным прыродным фонам радыяцыі 30% атрыманай гадавой дозы прыпадае на вонкавае апраменьванне, 70% — на ўнутранае. У сярэднім палова эфек-

тыўнай эквівалентнай дозы ад прыродных крыніц радыяцыі выклікаецца прысутнасцю радону-222 у жылых памяшканнях.

5.3. ПРЫРОДНА-ПАВЫШАНЫ ФОН НАТУРАЛЬНОЙ РАДЫЯЦЫІ

Вядома, што на Зямлі ёсць вобласці, дзе адзначаецца павышаны (у 100—500 разоў вышэйшы за сярэднесусветны) радыяцыйны фон.

У некаторых раёнах Бразіліі з анамальна высокай канцэнтрацыяй у глебах радую-226 колькасць яго ў харчовых прадуктах таксама павышаная. Напрыклад, у Рыо-дэ-Жанейра канцэнтрацыя радую-226 у раслінах, якія выкарыстоўваюцца ў ежу (батат, маніёка, фрукты, струковыя і інш.), складае 0,17—3,64 пКі/г попелу, а ў прадуктах жывёлагадоўлі — 0,006—0,228 пКі/кг попелу. Штодзённае паступленне радую-226 і радую-228 у арганізм чалавека з харчовымі прадуктамі дасягае адпаведна 10—40 і 60—240 пКі. Павышаная колькасць радыеактыўных ізатопаў радую ў прадуктах харчавання прыводзіць да назапашвання гэтых радыенуклідаў у касцявой тканцы людзей.

У рэгіёнах з анамальна высокай колькасцю радыеактыўных ізатопаў урану, торыю, радую ў горных пародах адзначаецца і высокая доза гама-выпраменьвання каля паверхні Зямлі—12—70 рад/год (сярэднесусветныя велічыні гама-выпраменьвання складаюць 26—1150 мрад/год).

У раёнах Крайняй Поўначы Расіі, Скандынаўскіх краін, ЗША і Канады мае месца павышанае паступленне ў арганізм людзей свінцу-210 і палонію-210. Тлумачыцца гэта тым, што, напрыклад, карэнныя жыхары Крайняй Поўначы ўжываюць вялікую колькасць мяса аленя. У выніку працяглага

ўтрымання аленяў на пашы з лішайнікамі (яны належаць да раслін, якія інтэнсіўна назапашваюць гэтыя радыенукліды) аленіна змяшчае свінец-210 і палоній-210 (7 і 1300 пКі/кг адпаведна). Па харчовым ланцужку гэтыя радыенукліды паступаюць у арганізм чалавека і назапашваюцца ў ім. У крыві, плазмі, палавых залозах карэнных жыхароў Поўначы канцэнтрацыя свінцу-210 і палонію-210 у 2—12 разоў вышэйшая, чым у жыхароў Заходняй Еўропы. Паступленне свінцу-210 можа дасягаць 17—44 пКі/сут, палонію-210 — 180—344 пКі/сут. З гэтым маюць сувязь і больш высокія дозы апраменьвання тканак. Так, у касцях эскімосаў дозавыя прамяновыя нагрузкі ў 23 разы перавышаюць сярэднія велічыні. Вялікая колькасць палонію-210 змяшчаецца ў мышцах рыбы і малюсках — 20 і 500 пКі/кг. Калі роля гэтых прадуктаў у харчовым рацыёне значная, то агульная колькасць радыенуклідаў, якія паступілі ў арганізм чалавека, можа значна перавышаць сярэдні ўзровень. Так, у Японіі гадавое паглынне гэтых радыенуклідаў у 5 разоў вышэйшае, чым у ФРГ і Італіі, і ў 10 разоў вышэйшае, чым у ЗША.

Такім чынам, насельніцтва некаторых рэгіёнаў атрымлівае дозы радыяцыі, якія перавышаюць сярэдні ўзровень. Павышаны фон прыроднай радыяцыі ў гэтых выпадках прыводзіць да фармавання значна больш высокіх дозаў радыяцыі за кошт вонкавага і ўнутранага апраменьвання.

5.4. ТЭХНАГЕННА-ПАВЫШАНЫ ФОН НАТУРАЛЬНАЙ РАДЫАЦЫІ

Няспынный рост тэмпаў гаспадарчай дзейнасці чалавека, звязаны са здабычай і перапрацоўкай прыродных выкапняў, прыводзіць да пераразмерка-

вання натуральнай радыеактыўнасці, г. зн. з'яўляюцца лакальныя радыеактыўныя забруджванні. За апошнія дзесяцігоддзі асабліва інтэнсіўна змяняюцца тэмпы міграцыі прыродных радыенуклідаў у біясферы.

Выкіды ў атмасферу аэразоляў, якія змяшчаюць прыродныя ізатопы, адбываюцца пры спальванні вугалю на цеплавых электрастанцыях. У каменным вугалі знаходзіцца нязначная колькасць прыродных радыеізатопаў. Пры яго спальванні пэўная частка попелу з гарачымі газамі выкідваецца ў атмасферу. За кошт гэтага насельніцтва, якое жыве ў раёне электрастанцыі, атрымлівае дадатковую дозу апраменьвання пад час праходжання дымавога клубка праз сістэму дыхання, а таксама праз органы стрававання пасля паступлення ўнутр арганізма радыеізатопаў, якія аселі на грунце. Попел выкарыстоўваецца ў вытворчасці бетону, які выклікае павелічэнне радыяцыйнага фону пабудаваных з яго будынкаў.

Ёсць цікавыя звесткі пра колькасць радыенуклідаў у мінеральных угнаеннях і пераразмеркаванне іх як унутры аднаго рэгіёна, так і паміж рознымі краінамі. Канцэнтрацыя урану-238 у фасфарытах асадкавага паходжання (змяшчаюць таксама радый-226, торый-232 і калій-40) у Марока і ў штаце Фларыда (ЗША) складае ў сярэднім 1500 Бк/кг, у магматычных фасфарытах (апатыты Кольскага паўвострава) — каля 70 Бк/кг. На тэрыторыю ФРГ з угнаеннямі штогод паступае $2 \cdot 10^{12}$ Бк урану-238; $1,13 \cdot 10^{12}$ Бк радыю-226 і $2 \cdot 10^{13}$ Бк калію-40, што абумоўлівае шчыльнасць забруджвання адпаведна 14; 10 і 150 Бк/м².

Асноўны пабочны прадукт перапрацоўкі фасфатаў — фосфагіпс. Пры яго тэрмічнай апрацоўцы канчатковым прадуктам з'яўляецца шлак, які скла-

даецца з сілікату кальцыю. У гэтых будаўнічых матэрыялах можа быць вышэйшая канцэнтрацыя радыю-226, чым у большасці прыродных будаўнічых матэрыялаў. Апраменьванне людзей, якія жывуць у дамах, пабудаваных з фосфагіпсу, можа на 30% перавышаць звычайныя нормы.

Небяспечнымі для насельніцтва з'яўляюцца таксама пемза, каменепадобны туф, граніт, якія вызначаюцца высокімі канцэнтрацыямі калію-40, радыю-226 і торыю-232.

Неабходна звярнуць увагу і на асобныя спажывецкія тавары шырокага попыту, у склад якіх тэхналогіяй прадугледжана ўключэнне радыеактыўных матэрыялаў або ў якіх радыяцыя ўзнікае ў працэсе іх нармальнага функцыянавання ці з прычыны няспраўнасці. Да тавараў, якія вылучаюць іанізацыйнае выпраменьванне, належаць гадзіннікі са святлівым цыферблатам (з выкарыстаннем трытыю), флюарэсцэнтныя лампы, прылады для іанізацыі паветра (ужываецца галоўным чынам палоній-210). Пры вытворчасці керамікі і шкла ў якасці фарбавальных рэчываў выкарыстоўваюць радыеізатопы урану. Тэлевізары вылучаюць слабыя рэнтгенаўскія прамяні (пры нармальнай эксплуатацыі тэлевізараў з каляровым адлюстраваннем вонкавае апраменьванне, якое імі выклікаецца, можна лічыць незначным).

Пададзеныя звесткі паказваюць, што з развіццём тэхнікі інтэнсіфікуюцца патокі прыродных радыенуклідаў у біясферы. З'яўляюцца новыя тэрыторыі з тэхнагенна-павышаным фонам прыроднай радыяцыі, на якіх насельніцтва атрымлівае больш высокія сумарныя дозы апраменьвання.



6. НАРМАВАННЕ ПРЫРОДНАГА РАДЫЯЦЫЙНАГА ФОНУ

За апошнія гады погляды вучоных на прыродны радыяцыйны фон змяніліся. Апраменьванне ад прыродных крыніц радыяцыі ў цяперашнім часе разглядаецца як складовая частка агульнай прамянёвай нагрузкі на насельніцтва, да якой трэба дастасоўваць прынцыпы нармавання прамянёвага ўздзеяння. Гэта звязана перш за ўсё з тым, што эфектыўная эквівалентная доза прыроднага фону, паводле апошніх разлікаў, больш высокая, чым лічылася раней, — 2 мЗв за год.

Змяненне ўяўленняў пра дозу апраменьвання за кошт прыроднага фону звязана галоўным чынам з уключэннем у дозавую нагрузку прыродных α -выпраменьвальнікаў — радону і яго даччыных прадуктаў. Істотна знізілася розніца паміж гранічнай велічынёй дозы для абмежаванай групы насельніцтва (5 мЗв/год) і дозай ад прыроднага фону: яна складае толькі 2,5-кратную велічыню. Апраменьванне, якое насельніцтва атрымлівае ад медыцынскіх працэдур, яшчэ больш змяняе гэту розніцу (Р. М. Алексахин, В. А. Книжников, А. И. Таскаев, 1986).

У Публікацыі МКРА* № 39 упершыню прапанавана новая канцэпцыя, якая мае на ўвазе ўвядзенне кантролю і магчымага абмежавання ўздзеяння прыроднага радыяцыйнага фону на чалавека. Практычная рэалізацыя гэтай канцэпцыі павінна адыграць у будучым вызначальную ролю ў абароне насельніцтва ад прыроднага радыяцыйнага фону. Мяркуюць, што пры выкарыстанні новых будаўні-

* Міжнародная камісія па радыелагічнай абароне.

чых матэрыялаў, увядзенні новых крыніц водазабеспячэння, праектаванні вентыляцыі пры будаўніцтве жылых дамоў, заводаў па вытворчасці мінеральных угнаенняў, увядзенні ў эксплуатацыю свідравін па здабычы прыроднага газу і г. д. неабходна ўлічваць магчымае змяненне прыроднага радыяцыйнага фону і рабіць захады, накіраваныя на абмежаванне радыяцыйнага ўздзеяння.

Ужо сёння дзейнічаюць гігіенічныя рэгламентацыі дапушчальнай колькасці прыродных радыенуклідаў у будаўнічых матэрыялах. Так, іх канцэнтрацыя ў цвёрдых адыходах, якія ўтвараюцца пры перапрацоўцы уранавых і торыевых рудаў, не павінна перавышаць зацверджаных нарматываў НРБ*-76/87 і АСП**-72/87: ^{226}Ra — $37 \cdot 10^{-1}$ Бк/г, ^{232}Th — $2,59 \times 10^{-1}$ Бк/г, ^{40}K — 48,1 Бк/г. Толькі пры такіх умовах адыходы могуць выкарыстоўвацца ў якасці будаўнічых матэрыялаў.



7. БІЯЛАГІЧНАЕ ЗНАЧЭННЕ ПРЫРОДНАГА РАДЫЯЦЫЙНАГА ФОНУ ЗЯМЛІ

Прыродны радыяцыйны фон адыгрывае важную ролю ў жыцці расліннага і жывёльнага свету. Гэта пацверджана вынікамі навуковых даследаванняў. Для доказу вучонымі былі выкарыстаны два падыходы. Першы заключаўся ў стварэнні ўмоў для

* Нормы радыяцыйнай бяспекі.

** Асноўныя санітарныя правілы.

штучнага зніжэння прыроднага фону іанізацыйных выпраменьванняў і ў ацэнцы жыццядзейнасці арганізмаў, якія знаходзяцца ў гэтых умовах, другі — у вывучэнні ўплыву на арганізм стымуляцыйнага эфекту малых дозаў дадатковага апраменьвання ў прыродных і штучных умовах.

Пры змяшчэнні жывых арганізмаў (мікраарганізмаў, раслін, жывёлаў, у тым ліку млекакормячых) у спецыяльна абсталяваныя камеры, якія абмяжоўваюць уздзеянне на іх вонкавага прыроднага фону радыяцыі, устаноўлена, што аслабленне прыроднага фону прыгнечвае працяканне фізіялагічных і біяхімічных працэсаў і ў цэлым робіць адмоўны ўплыў на жыццядзейнасць. Запавольвання працэсаў дзялення клетак, росту і развіцця арганізмаў не адбывалася пры ўнясенні ў доследныя камеры радыенуклідаў, якія забяспечваюць у іх узровень прыроднага радыяцыйнага фону (Кузін, 1991). Такім чынам, прыродны фон неабходны для нармальнага росту і развіцця жывых арганізмаў.

Пры вывучэнні стымуляцыйнага ўплыву малых дозаў выпраменьванняў атрыманы шмат у чым супярэчлівыя вынікі. На тэрыторыях з павышаным прыродным і штучным фонам іанізацыйных выпраменьванняў, як правіла, не адзначалася якіх-небудзь ахоўных або стымуляцыйных эфектаў. У тых жа выпадках, калі на штучных гама-палях назіралася павелічэнне біямасы і паскарэнне развіцця раслін, неабходна ўлічваць «карыснасць» гэтых з'яў для кожнай асобіны і папуляцыі ў цэлым, якая, магчыма, будзе іх элімінаваць у працэсе выжывальнасці і адбору (Р. М. Алексахін, В. А. Книжников, А. И. Таскаев, 1986).

Назіранні радыеэкалагаў у рэгіёнах з прыродна-павышаным узроўнем натуральнай радыеактыўнасці вельмі важныя і цікавыя, хаця і не пазбаўлены

супярэчнасцяў. У раслінах, што растуць на правым беразе р. Валіяр (Індыя) на глебах з павышанай колькасцю торыю, назіралі генетычныя змяненні, якія звязваюць з працяглым апраменьваннем манацытам. На паўднёвым захадзе Францыі ў раёне г. Ладзеў (радыяцыя павышаная за кошт выхад урану, радыю і радону, магутнасць дозы ў сярэднім 3,7 рад/гадз) выяўлена павышаная частата ападання кветкавых бутонаў у раслін, а таксама выпадкі альбінізму, хларозу і г. д.

Пры вывучэнні ўплыву павышанага ўзроўню радыяцыі на скарпіёнаў у мясцовасці Мора дэ Фэра (Бразілія) ваганні прыроднага радыяцыйнага фону складалі ад 0,1 да 3,2 рад/гадз. Устаноўлена пачашчэнне храмасомных пашкоджанняў у клетках. У скарпіёнаў з доследнага раёна выяўлены 224 клеткі з адным і 13 клетак з двума храмасомнымі пашкоджаннямі, у кантрольным раёне — 73 і 1 клетка адпаведна. Гэтыя адрозненні з'яўляюцца статыстычна значнымі.

Павышаная радыеактыўнасць, абумоўленая выхадамі на паверхню Зямлі урананосных рудаў, якія ўключаюць уран, радый, торый, радон і ствараюць магутнасць дозы гама-апраменьвання 20—2000 мкР/гадз, прыводзіла да парушэнняў у жыццядзейнасці мышападобных грызуноў на гэтых участках. У іх назіралі зніжэнне вагі ўнутраных органаў (печані, сэрца, семянікоў) і змяненне іх гісталагічнай структуры. На доследным участку колькасць пала-васпелых жывёлін сярод маладых складала 25—40, на кантрольных — 70—80%. У палёвак на доследных участках назіраліся зніжэнне ўзроўню лімфacyтаў і лейкоцытаў, прыкметы заўчаснага старэння селязёнкі.

Амаль ва ўсіх эксперыментальных работах гэтага накірунку падкрэсліваецца адмоўны ўплыў па-

вышанага ўзроўню іанізацыйных выпраменьванняў на расліны і жывёлаў.

Цікавымі з'яўляюцца і вынікі даследаванняў, аўтары якіх адзначаюць развіццё адаптацыі, прыстасавання папуляцый раслін і жывёлаў да ўздзеяння працяглага апраменьвання. Так, пры дадатковым гама-апраменьванні 90 кР выжывальнасць мух з хранічна апрамененай папуляцыі была вышэйшай за кантрольную. У самцоў з хранічна апрамененай (30 кР) папуляцыі рэпрадуктыўная здольнасць зніжалася ў меншай ступені, чым у самцоў з кантрольнай папуляцыі.

Р. М. Аляксахін і інш. (Р. М. Аляксахін, В. А. Книжников, А. И. Таскаев, 1986) абагульнілі вынікі шматгадовых даследаванняў, якія праведзены вучонымі Інстытута біялогіі Комі філіяла АН СССР і ахопліваюць значную колькасць біялагічных аб'ектаў (ніжэйшыя арганізмы, расліны, жывёлы). Вызначана, што розныя зрухі на ўзроўнях арганізма і папуляцыі ў асноўным звязаны з уздзеяннем павышанага фону іанізацыйных выпраменьванняў; гэтыя змяненні неспрыяльныя для папуляцый арганізмаў, якія знаходзяцца ў дадзеных умовах; рэгіструюцца зрухі, значэнне якіх цяжка ацаніць з пункту гледжання іх магчымых вынікаў на папуляцыйным узроўні; адзначаюцца з'явы адаптацыі папуляцый да ўздзеяння пралангаванага апраменьвання; надзвычай рэдка выказваецца меркаванне пра становішчы (у прыватнасці, стымуляцыйны) уплыў павышанага прыроднага радыяцыйнага фону на папуляцыі жывых арганізмаў.

Вельмі супярэчлівыя і высновы пра ўздзеянне павышанага ўзроўню прыроднай радыеактыўнасці на стан здароўя людзей. У шэрагу рэгіёнаў свету (Кітай, Бразілія, Паўночная Еўропа) вялікія групы людзей (да некалькіх мільёнаў) на працягу многіх

пакаленняў жывуць ва ўмовах прыроднага фону рад-
дыяцыі 1—2 бэр за год (70—149 бэр за 70 гадоў).
Якіх-небудзь змяненняў у часціні анкалагічных за-
хворванняў і асноўных дэмаграфічных паказчыках
у параўнанні з адпаведнымі кантрольнымі раёнамі
не назіраецца. У той жа час на востраве Ніуэ (Ціхі
акіян) з высокай канцэнтрацыяй радыю ў глебе мае
месца паніжаная ў параўнанні з суседнімі астрава-
мі нараджальнасць.

Для канчатковага развязання гэтых спрэчных
пытанняў інтэнсіўна распрацоўваецца праблема
біялагічнага дзеяння малых дозаў іанізацыйнай ра-
дыяцыі. Гэта дозы, якія ў 5—10 разоў перавы-
шаюць прыродны радыяцыйны фон,— прыкладна
0,04—0,05 Гр для чалавека. Стымуляцыйнае дзеян-
не малых дозаў даказана шматразова. Агульнавядо-
мы станючы эффект радонавых ваннаў (паляпшаец-
ца самаадчуванне, павышаецца жыццёвы тонус, сла-
беюць і знікаюць хваравітыя з'явы), што дасягаец-
ца за кошт дадатковага апраменьвання ў межах
дозы прыроднага фону, а пры прыёме ўнутр радона-
вых водаў — да пяці гадавых нормаў фону.

Паводле меркаванняў вучоных, і гэтыя звесткі,
і вынікі многіх клінічных і эксперыментальных да-
следаванняў не пацвярджаюць канцэпцыі беспаро-
гавасці дзеяння іанізацыйнай радыяцыі. Згодна з
ёю, парога дзеяння іанізацыі не існуе, нават адна-
адзіная часцінка з'яўляецца патэнцыяльна небяспеч-
най для арганізма. З канцэпцыі беспарогавасці
канцэрагеннага і мутагеннага дзеяння іанізацыйных
выпраменьванняў зыходзяць сёння спецыялісты па
радыяцыйнай абароне пры нармаванні радыяцый-
нага фактару, што знайшло сваё адлюстраванне ў
рэкамендацыях МКРА. Аднак больш абгрунтава-
най лічыцца канцэпцыя пра існаванне біялагічнага
парога дзеяння іанізацыйнай радыяцыі на ўзроўні

0,1—0,3 Гр. Праблема шырока абмяркоўваецца ў літаратуры па медыцынскіх аспектах іанізацыйных выпраменьванняў.

Такім чынам, пытанне пра значэнне павышанага радыяцыйнага фону для жыццядзейнасці арганізмаў працягвае заставацца ў пэўнай ступені адкрытым. Інтэрпрэтацыю доследных даных ускладняе, па-першае, тая акалічнасць, што ў прыродным асяроддзі на арганізмы ўздзейнічае адначасова вялікая колькасць экалагічных фактараў, сярод якіх ўплыў толькі радыяцыйнага кампанента ацаніць надзвычай цяжка. Па-другое, апраменьванне ад прыроднага фону ў значнай ступені залежыць ад назапашвання цяжкіх прыродных радыёнуклідаў (урану, торыю і інш.), разам з якімі ў арганізме назапашваюцца і іншыя хімічныя элементы (спадарожнікі гэтых радыёнуклідаў) з моцным таксічным дзеяннем. Апошняе яшчэ больш ускладняе ацэнку ўплыву ўласна радыяцыйнага фактару на жывыя арганізмы.

Пры разглядзе пытання пра стан здароўя людзей, якія знаходзяцца пад працяглым уздзеяннем малых дозаў апраменьвання (у дадзеным выпадку гэта датычыцца насельніцтва рэгіёнаў з павышаным прыродным радыяцыйным фонам), неабходна ўлічваць яшчэ і тэхнагенныя, і сацыяльныя фактары.



8. ПРЫРОДНЫ РАДЫЯЦЫЙНЫ ФОН І ЭВАЛЮЦЫЯ БІЯСФЕРЫ

Сучасныя навуковыя даныя пра дынаміку радыяцыйнага фону на паверхні Зямлі і эвалюцыю біясферы дазваляюць вучоным сцвярджаць, што

«ўсе віды вышэйшых жывёлаў, уключаючы млекакормячых і чалавека, пераважны час з апошніх 450 млн гадоў фармаваліся і эвалюцыйна развіваліся пры практычна пастаянным узроўні прыроднага радыяцыйнага фону, роўным сучаснаму, велічыню якога неабходна лічыць фундаментальнай канстантай высокаразвітой біясферы» (А. М. Степанов, 1980).

Аналізуючы праблему эвалюцыі біясферы ў залежнасці ад прыроднага радыяцыйнага фону, Р. М. Аляксахін і інш. (Р. М. Алексахин, В. А. Книжников, А. И. Таскаев, 1986) прызнаюць, што «чалавек як від можа развівацца на ўзроўні сярэдняга прыроднага фону іанізацийных выпраменьванняў і ў нейкай ступені вышэйшага і ніжэйшага за гэты сярэдні фон без якіх-небудзь прыкметных вынікаў». Разам з тым яны лічаць, што частка назіраных прыроджаных заганаў развіцця (генетычныя парушэнні) і анкалагічных захворванняў звязана з дзеяннем фонавага апраменьвання.

Да цікавых высноваў прыйшоў С. Г. Неручаў (С. Г. Неручев, 1982), які вывучаў ролю урану ў гісторыі Зямлі. Ён выявіў выразныя карэляцыі паміж буйнымі зменамі ў флоры і фауне Зямлі і назапашваннем урану ў палеабіясферах у пэўныя геалагічныя перыяды. Апрача таго, ён разглядае іанізацийнае выпраменьванне ў якасці адзінага значнага фактару ў мутагенезе і відаўтварэнні жывого рэчыва на Зямлі. Пытанні ўзаемасувязі прыроднага радыяцыйнага фону і эвалюцыі біясферы застаюцца прадметам навуковых даследаванняў.



9. РАДЫЯЦЫЯ І АДАПТАЦЫЯ

Шматлікія звесткі сведчаць пра здольнасць жывых арганізмаў прыстасоўвацца да іанізацыйнай радыяцыі. Прыродная радыеактыўнасць з'яўляецца адным з нязменных фактараў навакольнага асяроддзя (побач з тэмпературай, вільготнасцю і г. д.), і таму зусім заканамерна, што і да яе арганізм можа адаптавацца.

Мяркуюць, што ўсе жывыя арганізмы, а таксама іх сістэмы прыстасоўваюцца да іанізацыйнай радыяцыі ў межах эвалюцыйна сфармаванай нормы рэакцыі (Ю. К. Кудрицкий, А. Б. Георгиевский, В. И. Карпов, 1987). Паколькі эвалюцыя адбывалася ва ўмовах прыроднага фону радыяцыі, то менавіта да яго адаптаваліся жывыя арганізмы. Важна адзначыць дзве акалічнасці: па-першае, дыяпазон прыроднай фонавай радыяцыі з'яўляецца дастаткова шырокім — па магутнасці перавышае два парадкі ў параўнанні з яе сярэднім значэннем, і, па-другое, шкоднага ўплыву прыродны радыяцыйны фон на стан здароўя чалавека не робіць. Многімі даследчыкамі ўстаноўлена, што жыхары раёнаў з павышаным узроўнем прыроднага фону не адрозніваюцца па працягласці жыцця і часціні злаякасных пухлінаў ад жыхароў раёнаў з натуральным, сярэднім фонам радыяцыі.

Іанізацыйная радыяцыя, якая з'яўляецца агульным неадэкватным раздражняльнікам, мае шырокі спектр біялагічнага дзеяння. На думку вучоных, для кожнага віду арганізмаў можна вызначыць экстрэмальныя межы адаптацыі: ніжнюю — па мінімальна неабходным для жыццядзейнасці ўзроўні радыяцыі, верхнюю — па максімальным узроўні,

калі яшчэ захоўваецца ўстойлівасць да яе ўплыву (Ю. К. Кудрицкий, А. Б. Георгиевский, В. И. Карпов, 1987).

Вядома, што пры змяненні аптымальнага ўзроўню дзейнага (у нашым выпадку іанізацыйнага выпраменьвання) фактару як у бок узмацнення, так і ў бок аслаблення яго ўплыву можа ўзнікнуць абмежаванне жыццядзейнасці аж да развіцця хвароб і гібелі арганізма.

Для кожнага арганізма, для віду і папуляцыі існуе свая «норма радыеўстойлівасці». Яна можа перадавацца ў спадчыну і змяняцца пры новых узроўнях прамянёвага ўздзеяння (Н. П. Дубинин, 1966).

Выяўлены факты, якія сведчаць пра рост радыеўстойлівасці арганізма да дадатковага прамянёвага ўздзеяння пры павышэнні радыяцыйнага фону. Аднак радыеўстойлівасць можа зніжацца, калі ўзровень радыяцыйнага фону перавышае меру адаптыўнасці арганізма або папуляцыі. Напрыклад, пры павелічэнні гама-фону ў 50 разоў радыеўстойлівасць першых пакаленняў белых мышэй павышалася, наступных — зніжалася, а пачынаючы з пятага пакалення зрабілася ніжэйшай за кантроль. Спецыяльна праведзеныя даследаванні паказалі, што малыя дозы гама-апраменьвання пры ўздзеянні на насенне гароху, якое знаходзіцца ў стане спакою, павышалі ўстойлівасць яго генетычнага апарату да наступнага апраменьвання ў шкодных дозах.

Узбекскія вучоныя паказалі, што ў раслінах, якія растуць на уранзмяшчальных глебах і ва ўмовах высакагор'я (на вышыні 1500—2000 м над узроўнем мора інтэнсіўнасць касмічнай радыяцыі павялічваецца ў 1,5—2 разы), павышана колькасць эндагенных радыеахоўных рэчываў — хларагенавай кіслаты, руціну, кверцэціну, флаваноідаў. На іх дум-

ку, пры шматвекавым росце раслін ва ўмовах павышанай радыяцыі ў іх узмацняецца працэс утварэння эндагенных радыеахоўных рэчываў як адказ на ўздзеянне выпраменьвання.

Радыеадчувальнасць жывых арганізмаў мае цесную сувязь з іншымі відамі неспецыфічнай рэактыўнасці, якая робіць станоўчы ўплыў і на ўстойлівасць арганізма да іанізацыйнага выпраменьвання. Апрача таго, чалавек змяняе ўзровень радыяцыйнага ўздзеяння — уводзіцца экалагічнае і гігіенічнае нармаванне прамянёвай нагрузкі на людзей, у тым ліку і ад прыродных крыніц радыяцыі.

ЗАКАНЧЭННЕ

Прыродная радыеактыўнасць з'яўляецца неад'емнай часткай свету, у якім мы жывем, і жыццё на Зямлі ўзнікла на фоне радыеактыўных выпраменьванняў. Прыродны радыацыйны фон вызначаецца касмічным выпраменьваннем і радыеактыўнымі ізатопамі шэрагу хімічных элементаў, рассеяных у горных пародах, глебе, вадзе і паветры. На працягу біялагічнай гісторыі Зямлі гэты фон практычна заставаўся нязменным.

Набор натуральных радыенуклідаў у прыродзе вельмі шырокі, і немагчыма выключыць іх пранікненне ў структуры жывой матэрыі, паколькі па сваіх хімічных уласцівасцях радыеактыўныя ізатопы не адрозніваюцца ад стабільных. У адпаведнасці з хімічнымі і біялагічнымі законамі кругаўзвароту рэчываў у прыродзе яны ідуць побач па ўсіх біялагічных і харчовых ланцужках. Гэтым тлумачыцца той факт, што ўсе прыродныя радыеактыўныя рэчывы, выяўленыя ў зямной кары, заўсёды прысутнічаюць у арганізмах раслін, жывёлаў і чалавека.

Жывы арганізм прыстасоўваецца да прыроднага фону радыацыі. І гэтая здольнасць для яго вельмі важная: расліны або жывёлы могуць набываць павышаную радыеўстойлівасць ва ўмовах павышанага радыацыйнага фону. Радыеадчувальнасць жывых арганізмаў мае цесную сувязь з іншымі відамі неспецыфічнай рэактыўнасці, якая робіць станоўчы

ўплыў на ўстойлівасць арганізма да іанізацыйнага выпраменьвання.

Новыя, больш дакладныя звесткі пра велічыню эфектыўнай эквівалентнай дозы, якая атрымліваецца ад прыродных крыніц радыяцыі (гэта датычыцца і тэхнагенна-змененага фону), паставілі пытанне пра нармаванне прыроднага радыяцыйнага фону. Перш за ўсё гэта выклікана радонавым забруджваннем жылых і службовых памяшканняў, доза апраменьвання за кошт якога дастаткова вялікая. Вывучаюцца магчымасці і спосабы яе зніжэння.

Апраменьванне ад прыродных крыніц радыяцыі сёння разглядаецца як складовая, да таго ж істотная, частка агульнай прамянёвай нагрузкі на чалавека. Сярэдняя гадавая доза радыяцыі, якую ён атрымлівае ад усіх крыніц прыроднага радыяцыйнага фону, складае 2 мЗв. Ёсць меркаванне, што гэтая доза не выклікае адмоўных біялагічных эфектаў. Больш таго, факты даказваюць неабходнасць прыроднай радыеактыўнасці для існавання жыцця на Зямлі, паколькі яно ўзнікла, эвалюцыянавала і праходзіць ва ўмовах пэўнага радыяцыйнага фону.

**ВЕЛИЧИНІ І АДЗІНКИ,
ЯКІЯ ВИКАРЫСТОУВАЮЦА У ДАЗІМЕТРЫІ
ІАЇЗАЦЫЙНЫХ ВЫПРАМЕНЬВАННЯ**

Фізічныя і дазіметрычныя велічыні і іх сімвалы	Адзінкі		Стасунак паміж адзінкамі
	Сістэма SI	Пазасіс- тэмныя	
Актыўнасць, A	Бекерэль, Бк	Кюры, Кі	$1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп/с} =$ $= 2,7 \cdot 10^{-11} \text{ Кі};$ $1 \text{ Кі} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$
Экспазіцыйная доза, X	Кулон на кілаграм, Кл/кг	Рэнтген, Р	$1 \text{ Кл/кг} = 3,88 \cdot 10^3 \text{ Р};$ $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$
Паглынутая доза, D	Грэй, Гр	Рад, рад	$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад} =$ $= 1 \text{ Дж/кг}; 1 \text{ рад} =$ $= 10^{-2} \text{ Гр} = 100 \text{ эрг/г}$
Эквівалентная доза, H	Зіверт, Зв	Бэр, бэр	$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр} =$ $= 1 \text{ Гр} \cdot Q = 1 \text{ Дж/кг} \cdot Q;$ $1 \text{ бэр} = 10^{-2} \text{ Зв} =$ $= 10^{-2} \text{ Гр} \cdot Q = 1 \text{ рад} \cdot Q$

СЛОЎНІК АСНОЎНЫХ ТЭРМІНАЎ, ЯКІЯ СУСТРАКАЮЦА ў ТЭКСЦЕ

Актывацыя — працэс, пры якім пад уздзеяннем ядравага выпраменьвання неактыўныя элементы ператвараюцца ў радыеактыўныя.

Актыўнасць — колькасць распадаў радыеактыўных ядраў за адзінку часу. Адзінка актыўнасці ў сістэме SI — бекерэль (Бк).

Альфа-выпраменьванне — карпускулярнае іанізакцыйнае выпраменьванне, якое вылучаецца пры ядравых ператварэннях і складаецца з альфа-часцінак.

Альфа-часцінкі (α -часцінкі) — ядры гелію, якія вылучаюцца пры радыеактыўным альфа-распадзе і складаюцца з двух пратонаў і двух нейтронаў.

Бэр (біялагічны эквівалент рэнтгена) — адзінка біялагічнай дозы (незалежна ад віду выпраменьвання), якая робіць на чалавека такое ж біялагічнае дзеянне, як 1 Р (рэнтген) рэнтгенаўскага выпраменьвання.

Бэта-выпраменьванне — карпускулярнае іанізакцыйнае выпраменьванне, якое ўзнікае пры ядравых ператварэннях і складаецца з электронаў або пазітронаў.

Бэта-часцінкі (β -часцінкі) — адмоўна (электрон) або дадатна (пазітрон) зараджаныя часцінкі, якія вылучаюцца атамным ядром пры бэта-распадзе.

Вонкавае выпраменьванне — апраменьванне ад радыеактыўных крыніц, якія знаходзяцца па-за целам.

Гама-выпраменьванне (γ -выпраменьванне) — электрамагнітнае выпраменьванне, якое вылучаецца пры радыеактыўным распадзе.

Даўжыня прабегу — сярэдняя адлегласць, на якую пранікае часцінка пры пэўных умовах.

Доза радыяцыі — мера ўздзеяння выпраменьвання на асяроддзе; мера колькасці радыеактыўных рэчываў і энергіі выпраменьвання, паглынутых у апрамененым асяроддзі.

Іанізакцыйнае выпраменьванне — выпраменьванне з высокай энергіяй карпускулярнай і (або) электрамагнітнай прыроды, якое выклікае іанізакцыю.

Іанізакцыя — працэс выбівання электронаў з атамаў або ма-

лекулаў; у выніку якога нейтральныя часцінкі ператвараюцца ў зараджаныя іоны.

Ізатопы — разнавіднасці аднаго і таго ж элемента, якія маюць аднолькавую колькасць пратонаў, але розную колькасць нейтронаў у атаме.

Карпускулярныя іанізацыйныя выпраменьванні — пучкі элементарных ядравых часцінак, ядраў элементаў або іонаў (α -часцінкі, β -часцінкі і цяжкія іоны, якія з'яўляюцца ядрамі іншых элементаў).

Касмічнае выпраменьванне — паток элементарных часцінак і ядраў атамаў, які паступае на Зямлю з касмічнай прасторы.

Кэфіцыент якасці (Q) — паказчык, які выкарыстоўваецца дзеля ўліку біялагічнай эфектыўнасці розных відаў іанізацыйнага выпраменьвання пры вызначэнні эквівалентнай дозы.

Крыніца іанізацыйнага выпраменьвання — радыеактыўнае рэчыва, якое вылучае іанізацыйнае выпраменьванне.

Перыяд паўраспаду — час, на працягу якога з першапачатковай колькасці радыеізатопу самаадвольна распадаецца палова радыеактыўных ядраў (актыўнасць радыенукліду зніжаецца напалову).

Прыродны радыяцыйны фон — касмічнае выпраменьванне і радыеактыўнае выпраменьванне прыродных радыенуклідаў, якое з'яўляецца характэрным для канкрэтнай мясцовасці.

Рад — састарэлая адзінка паглынутай дозы, роўная 100 эрг/г, або 0,01 Дж/кг.

Радыеактыўнасць — самаадвольнае ператварэнне нестабільных ядраў атамаў у ядры іншых элементаў, якое суправаджаецца ядравым выпраменьваннем.

Радыеактыўны ізатоп — ізатоп хімічнага элемента, які з'яўляецца нестабільным і самаадвольна ператвараецца.

Радыеактыўны распад — від ядравага ператварэння, пры якім адбываецца самаадвольнае змяненне ў складзе або будове атамных ядраў і якое суправаджаецца вылучэннем іанізацыйных выпраменьванняў.

Радыебіялогія — галіна навукі, якая займаецца вывучэннем уплыву розных відаў радыяцыі на біялагічныя аб'екты.

Радыенукліды — ядры хімічных элементаў, якія самаадвольна распадаюцца і пры распадзе якіх адбываецца электрамагнітнае і карпускулярнае (часцінкі) выпраменьванне.

Рэнтген — састарэлая адзінка экспазіцыйнай дозы, роўная 0,0095 Дж/кг.

Тэчнагенны фон выпраменьвання — прыродны фон выпраменьвання, зменены ў выніку дзейнасці людзей.

Унутранае апраменьванне — апраменьванне ад радыеактыўных крыніц, якія знаходзяцца ўнутры цела.

Ядравае выпраменьванне (радыяцыя) — агульная назва ўсіх відаў выпраменьванняў, якія вылучаюцца атамным ядром у працэсе самаадвольнага або штучна выкліканага ператварэння; суправаджаецца вылучэннем іанізацыйных электрамагнітных і карпускулярных выпраменьванняў.

ЛИТАРАТУРА

- Алексахин Р. М. Ядерная энергия и биосфера. М., 1982.
- Алексахин Р. М., Книжников В. А., Таскаев А. И. Естественный радиационный фон: проблемы миграции радионуклидов и биологического действия // Радиобиология. 1986. Т. 26, № 3. С. 292—301.
- Булдаков Л. А. Радиоактивные вещества и человек. М., 1990.
- Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М., 1956.
- Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М., 1957.
- Геохимические провинции покровных отложений БССР / Под ред. К. И. Лукашова. Мн., 1969.
- Дубинин Н. П. Проблемы радиационной генетики. М., 1961.
- Кудрицкий Ю. К., Георгиевский А. Б., Карпов В. И. Адаптация к ионизирующему излучению // Инф. бюл. науч. совета АН СССР по проблемам радиобиологии. 1987. № 34. С. 13—17.
- Кузин А. М. Природный радиоактивный фон и его значение для биосферы Земли. М., 1991.
- Лукашов К. И. Географические очерки природы Белоруссии. Мн., 1983.
- Маленченко А. Ф. Уран в организме жителей Белоруссии и некоторые аспекты его влияния на щитовидную железу (клинико-экспериментальное исследование): Автореф. докт. дис. Вильнюс, 1973.
- Неручев С. Г. Уран и жизнь в истории Земли. Л., 1982.
- Степанов А. М. Мутагенез при действии физических факторов. М., 1980. С. 176—186.
- Тернов В. М., Кондратьев А. Г. Гамма-фон Белорусской ССР в 1981—1982 гг. // Здравоохранение Белоруссии. 1990. № 6. С. 61—62.
- Ярмоненко С. П. Радиобиология человека и животных. М., 1988.

ЗМЕСТ

Уступ	3
1. Асноўныя ўяўленні пра радыеактыўнасць і іанізацыйныя выпраменьванні	5
1.1. Фізічныя аспекты дзеяння іанізацыйных выпраменьванняў	5
1.2. Колькасная характарыстыка іанізацыйнага выпраменьвання. Адзінкі і дозы радыяцыі	9
2. Прыродныя крыніцы іанізацыйных выпраменьванняў	13
2.1. Касмічнае выпраменьванне	13
2.2. Прыродныя радыеактыўныя рэчывы	16
2.3. Размеркаванне прыродных радыенуклідаў	20
3. Рэгіёны з высокім узроўнем прыроднай радыяцыі	27
4. Паводзіны прыродных радыенуклідаў у біясферы	29
4.1. Міграцыя радыенуклідаў	29
4.2. Колькасць радыенуклідаў у раслінах і жывёлах	29
4.3. Назапашванне радыенуклідаў у арганізме чалавека	34
5. Прыродны радыеактыўны фон і дозы апраменьвання чалавека	37
5.1. Агульная характарыстыка радыеактыўнага фону і апраменьвання насельніцтва	37
5.2. Нармальны прыродны радыяцыйны фон	38
5.3. Прыродна-павышаны фон натуральнай радыяцыі	48
5.4. Тэхнагенна-павышаны фон натуральнай радыяцыі	49
6. Нармаванне прыроднага радыяцыйнага фону	52
7. Біялагічнае значэнне прыроднага радыяцыйнага фону Зямлі	53
8. Прыродны радыяцыйны фон і эвалюцыя біясферы	58
9. Радыяцыя і адаптацыя	60
Заканчэнне	63
Велічыні і адзінкі, якія выкарыстоўваюцца ў дазіметрыі іанізацыйных выпраменьванняў	65
Слоўнік асноўных тэрмінаў, якія сустракаюцца ў тэксце	66
Літаратура	69

Вытворча-практычнае выданне

Гацко Галіна Рыгораўна
Канапля Яўген Фёдаравіч

ПРЫРОДНАЯ РАДЫЕАКТЫЎНАСЦЬ

Загадчык рэдакцыі *М. Дз. Гесь*

Рэдактар *І. А. Аляб'ева*

Мастак *В. В. Васюк*

Мастацкі рэдактар *Л. М. Гоманай*

Тэхнічны рэдактар *Т. В. Лецъен*

Карэктар *А. М. Малей*

Здадзена ў набор 31.01.94. Падапісана ў друк 18.04.94. Фармат 70×100¹/₃₂. Папера **друк**, № 1. Гарнітура літаратурная. **Высокі друк**. Ум. друк. арк. 2,90. Ум. фарб.-адб. 2,98. Ул.-выд. арк. 2,69. Тыраж 3000 экз. Зак. № 66.

Выдавецтва «Навука і тэхніка» Акадэміі навук Беларусі і Міністэрства культуры і друку Рэспублікі Беларусь. 220141. Мінск, Жодзінская, 18. ЛВ № 437. Друкарня імя Францыска Скарыны выдавецтва «Навука і тэхніка». 220141. Мінск, Жодзінская, 18.

Навуковая літаратура выдавецтва

«НАВУКА І ТЭХНІКА»

1994—1995 гг.



Конопля Е. Ф. Радиобиологические и экологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС

Коржев В. А. Популяционные аспекты радиоэкологии млекопитающих

Радиоактивное загрязнение флоры и растительности Беларуси в связи с аварией на Чернобыльской АЭС / Под общ. ред. В. И. Парфенова, Б. И. Якушева

Фаунистические комплексы в зоне аварии Чернобыльской АЭС: Состояние и динамика / Под общ. ред. Л. М. Сущени и М. М. Пикулика

